Metafísica de la materia

Núcleos temáticos de Filosofía de la Naturaleza, materia no viviente

Manuel M.ª Carreira

Universidad Pontificia ICAI ICADE Comillas Madrid

Libros de Texto

METAFÍSICA DE LA MATERIA puede parecer un título extraño, pues se da por supuesto que es la Física la que trata de la materia, mientras la Metafísica se considera el estudio de abstracciones muy poco ligadas al mundo material. Sin embargo, es preciso hacer preguntas acerca de la materia que no pueden responderse con una ecuación o una medida experimental: éste es el campo de lo que tradicionalmente se denominaba "Cosmología" o "Filosofía de la Naturaleza"

El autor, Manuel M.ª Carreira, S.J., tiene la preparación filosófica y científica para presentar en cada tema los datos de la Física más moderna y para ver más allá de esos datos los interrogantes filosóficos.

Después de su Licenciatura en Filosofía, hizo su Master y Doctorado de Física en Estados Unidos, obteniendo su título con una tesis sobre Rayos Cósmicos dirigida por el Profesor Clyde Cowan, uno de los descubridores del neutrino. Desde hace 30 años alterna semestres dando clases de Física y Astronomía primero en Washington y luego en Cleveland (John Carroll University) y de Filosofía de la Naturaleza en la Universidad de Comillas. Es también colaborador del Observatorio Vaticano y miembro de su Junta Directiva. A esta labor une una gran actividad como conferenciante en España y en América, siendo invitado a congresos internacionales sobre Ciencia, Filosofía y Teología celebrados recientemente en Roma, Colombia y Méjico, además de repetidas intervenciones en las más prestigiosas universidades españolas.

PUBLICACIONES
DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
MADRID

Serie III: LIBROS DE TEXTO, 27

PEDIDOS:

UPCo SERVICIO DE PUBLICACIONES
c/ Universidad Comillas, 3
28049 Madrid
Teléfono: 915 406 145 • Fax: 917 344 570

EDISOFER, S.L.
c/ San Vicente Ferrer, 71
28015 Madrid
Teléfono: 915 210 927 • Fax: 915 322 863

MELISA
c/ Isaac Peral, s/n; Parcela 10
P.I. «INDUCAN»
28840 Mejorada del Campo (Madrid)
Teléfono: 916 681 623 • Fax: 916 681 457

MANUEL M.ª CARREIRA VÉREZ

METAFÍSICA DE LA MATERIA

Núcleos temáticos de Filosofía de la Naturaleza, materia no viviente

UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI ICADE
COMILLAS
MADRID
2001

I S B N: 84-8468-034-7

© 2001, Manuel M.ª Carreira Vérez
● 2001, Universidad Pontificia Comillas

Depósito Legal: M. 43.158-2001

Diseño de cubierta: Belén Recio Godoy

Compuesto e impreso por JPM Graphic, S.L.
c/ Martínez Izquierdo, 7 • 28028 Madrid

Impreso en España - *Printed in Spain*

Reservados todos los derechos. El contenido de esta obra está protegido por las leyes, que establecen penas de prisión y multas, además de las correspondientes indemnizaciones por daños y perjuicios, para quienes reprodujeran total o parcialmente el texto de este libro por cualquier procedimiento electrónico o mecánico, incluso fotocopia, grabación magnética, óptica o informática, o cualquier sistema de almacenamiento de información o sistema de recuperación, sin permiso escrito de los propietarios del *copyright*.

ÍNDICE

PRÓLOGO 9

PRÓLOGO A LA SEGUNDA EDICIÓN 11

I. FILOSOFÍA DE LA NATURALEZA: EL MUNDO DE LA MATERIA NO-VIVIENTE 13

II. OBJETIVIDAD DE LOS SENTIDOS 21

III. ESTRUCTURA ESPACIAL DEL MUNDO 35

IV. MOVIMIENTO 51

V. EL TIEMPO 67

VI. ACTIVIDAD DE LA MATERIA 81

VII. CONSTITUCIÓN DE LA MATERIA 99

VIII. ORIGEN DEL UNIVERSO 115

IX. FUTURO DEL UNIVERSO 129

X. LÍMITES DEL CONOCIMIENTO 141

APÉNDICES

MATERIALES QUE COMPLEMENTAN LA ASIGNATURA CON DATOS CIENTÍFICOS, HISTÓRICOS O FILOSÓFICOS

APÉNDICE I: EL ESPACIO DE LA RELATIVIDAD 153

APÉNDICE II: DATOS CUANTITATIVOS 159

APÉNDICE III: ESQUEMA HISTÓRICO DEL DESARROLLO DE LAS CIENCIAS 163

BIBLIOGRAFÍA 177

PRÓLOGO

Dentro del contexto de una formación filosófica universitaria, no debe faltar un estudio sistemático de los problemas relacionados con la estructura y propiedades del mundo material. Tal estudio tiene raíces históricas que se remontan a las épocas más primitivas de la filosofía griega, y ha sido siempre parte del quehacer filosófico de la Escolástica medieval y posterior, así como de la mayoría de las escuelas diversas hasta épocas recientes.

El plan de estudios actual para la carrera universitaria de Filosofía, en España, incluye también a la Filosofía de la Naturaleza como una de las asignaturas obligadas. Es difícil, sin embargo, encontrar libros que nos proporcionen una visión actual, sistemática y unificada, de los problemas de tipo filosófico que brotan de la ciencia moderna, y a los que ésta puede contribuir con una nueva luz, necesariamente ausente de los tratados de siglos anteriores.

Por esta falta de libros que poder utilizar como base explicativa, me he visto impulsado, a lo largo de más de 20 años de docencia, a presentar por escrito a mis alumnos, en forma lo más concisa y clara posible, lo que considero puntos centrales de una metafísica del mundo material. Este es el significado de estas páginas: como indica el subtítulo, se trata de «Núcleos Temáticos», que no pretenden desarrollar exhaustivamente cada punto, sino más bien dar la base para un tratamiento más amplio en el aula, y un fondo lógico al que referir las propias notas, más detalladas, de los alumnos. Por este enfoque, la lectura seguida del texto se hará, probablemente, un tanto dura: de no prestar atención al empleo de cada palabra y a la delimitación de cada idea, se obtendrán impresiones equivocadas o se creerá haber entendido, con una lectura superficial, lo que exige mucho pensamiento propio.

Por la misma razón de dar la trama esencial y no los detalles de cada tema, se ve reducida a meras alusiones la presentación de opiniones históricas, incluso de autores famosos. Dado suficiente tiempo, sería muy enriquecedora la compa-

ración detallada de las opiniones filosóficas según escuelas, autores, períodos y puntos de vista diversos; lo mismo podría decirse de la génesis de las ideas científicas que los filósofos utilizan, consciente o inconscientemente, en cada época. Tal labor no es parte del plan del presente libro; al contrario, por decisión explícita, he preferido considerar cada problema como un interrogante al que es posible dar, en principio, un número de respuestas mutuamente excluyentes, sin subrayar el hecho histórico de que tales respuestas hayan sido encontradas en un autor o en otro. Un análisis lógico de sus contenidos y sus consecuencias nos llevará a seleccionar una como la más satisfactoria, sin perdernos en detalles de hermenéutica o discusión de influjos y evolución ideológica.

Agradezco a mis compañeros de profesorado en la Universidad Comillas, así como a mis alumnos, el haber llamado mi atención a lo que encontraban especialmente útil o deficiente: tales reacciones me han ayudado a refinar mis propias ideas y su presentación hablada y escrita. Con gusto recibiré también los comentarios de todos aquellos que, a través de estas páginas, se sientan atraídos hacia el misterio de la materia, entorno y parte de nuestro propio ser.

MANUEL M. CARREIRA VÉREZ, S.J.

PRÓLOGO A LA SEGUNDA EDICIÓN

Casi diez años después de haber llevado a la prensa este trabajo en que se aúnan datos científicos y análisis filosóficos, todavía parece suficientemente útil para justificar una nueva edición. No ha habido ningún desarrollo, ni en Física ni en Filosofía, que obligue a cambiar el temario ni el análisis de las diversas soluciones propuestas, pero sí es posible puntualizar mejor algunos datos y actualizar las referencias bibliográficas. Sobre todo he intentado que la lectura sea un poco más fácil con la inclusión de subtítulos y de un formato de impresión más atrayente, además de desarrollar con mayor detalle algunos conceptos menos comunes.

Sigue siendo una presentación de núcleos temáticos, *que presuponen labor propia por parte de un Profesor, y lectura atenta por parte de alumnos o de personas con interés filosófico en general. Si sirven de semilla capaz de germinar en nuevas ideas, aunque esas ideas se aparten de las aquí expuestas, me sentiré satisfecho y dispuesto a aprender de quienes vean con mayor claridad los muchos misterios del mundo que nos rodea.*

Universidad Comillas, Madrid - 01/01/01: comienzo de siglo y de milenio.

MANUEL M. CARREIRA VÉREZ, S.J.

I

FILOSOFÍA DE LA NATURALEZA: EL MUNDO DE LA MATERIA NO-VIVIENTE

INTRODUCCIÓN

Toda la actividad intelectual humana comienza en una interacción con el mundo que nos rodea, una interacción en que la materia influye en nuestros órganos sensoriales, estructuras también materiales que sintonizan con las propiedades activas de la materia externa en orden a la supervivencia y como fuente de posible conocimiento objetivo. Es en el deseo de conocer objetivamente, de encontrar verdad —una representación correcta del mundo observable— donde está la raíz de toda ciencia y filosofía.

La investigación del mundo físico puede realizarse a diversos niveles, con metodología propia de cada uno y con criterios de certeza adecuados a la metodología empleada. Si buscamos conocer el modo de proceder de algún tipo concreto de materia en unas circunstancias limitadas, y si queremos buscar causas —razones— de orden próximo a lo que observamos, tenemos ciencia experimental, «ciencia» en el sentido técnico que hoy tiene la palabra. Tal conocimiento se verifica con predicciones que son experimentalmente comprobables y que dan lugar a medidas cuantitativas, base de cálculos numéricos más o menos exactos. Todo lo cual lleva a la formulación generalizada de modos de proceder de la materia que se presentan como «leyes de la Naturaleza» en un sentido analógico. Todo lo cual se acepta como independiente del observador o de su entorno cultural, con validez objetiva y universal.

El estudio que no se detiene en causas próximas ni en las medidas cuantitativas forma un nivel más profundo que el propio del método empírico de las ciencias de la materia. Se basa en nuestro conocimiento sensible, ayudado por toda clase de instrumentos, pero no se detiene en

lo sensible: es una META-FÍSICA de la materia, cuya metodología es el raciocinio lógico, sin exigir la comprobación experimental de sus deducciones, ya mencionada como propia de las «Ciencias». Se va «más allá de la Física» según la etimología original, aunque fuese referida a un simple orden de trabajos aristotélicos.

Aunque nuestro tema es común con el de las ciencias experimentales (Física, Química, Biología, Astronomía...), nuestro estudio se centra en los aspectos y propiedades no-cuantificables de la materia. Cabe la posibilidad de que algún parámetro actualmente no-medible resulte ser objeto de medida en un futuro más o menos lejano: al llegar ese momento, dejaría de ser sujeto de la Filosofía.

Es importante insistir en que las ciencias de la materia se auto-definen por el refrendo experimental, al menos POSIBLE en teoría, de sus conclusiones. Si tal comprobación por medidas cuantitativas no es posible, ni hipotéticamente, la sugerencia o conclusión deja de ser científica. Es, por tanto, incorrecto el uso de la palabra «infinito» para cualquier parámetro del mundo físico: ninguna medida realizada con un aparato finito puede darnos un valor estrictamente infinito. Solamente puede aparecer un valor indefinidamente creciente como un límite de un proceso físico para el que no podemos lógicamente asignar un término. También es incorrecta la suposición de «otros Universos» si uno define «Universo» como la totalidad de cuanto existe de orden material, directa o indirectamente susceptible de verificación experimental, al menos por sus efectos pasados o presentes en el entorno observable. «Otro Universo» es, automáticamente, pura ficción no-científica si se propone como solución de un problema.

Por la exigencia de comprobación experimental cuantificable, cae fuera del ámbito científico toda la actividad artística, afectiva, social y ética del Hombre. No es posible, lógicamente, esperar que una teoría física explique y prediga la actividad intelectual y volitiva, para la cual no hay ningún parámetro medible. Ni puede pedirse tampoco que las ciencias experimentales den las respuestas a preguntas sobre finalidad o razón suficiente del Universo o de sus partes. Son todas éstas preguntas «meta-físicas», más allá de la Física, que no pueden responderse con una fórmula o un número.

Podríamos decir que la ciencia es una respuesta al «cómo» ocurren las cosas en el mundo de la materia, con referencia causal solamente a las causas más inmediatas. Esta respuesta solamente puede formularse en el marco de *leyes* que describen procesos con modos de proceder cons-

tantes a partir de *condiciones iniciales*. Si no son conocidas las condiciones iniciales con exactitud, la aplicación de las leyes no puede dar lugar a predicciones fiables. Si no se conocen las leyes, no es posible pasar de una situación primitiva a otra posterior. Como las leyes son descripciones generalizadas del proceder de la materia, ya presuponen su existencia y propiedades. Consecuentemente, no puede aplicarse el método científico a problemas que implican la estricta creación o aniquilación de algo material. Se podría decir, brevemente, que la ciencia sólo trata de las *transformaciones* de la materia.

Por el contrario, la Filosofía trata del *«qué»*, *«por qué»*, *«para qué»*, de todo lo existente, material o inmaterial, remontándose a las causas últimas y a los niveles más profundos del ser. No es de extrañar que esas preguntas sean de enorme dificultad, y que la respuesta, en la mayor parte de los casos, no sea completamente satisfactoria, sobre todo para nuestro instinto de visualizar o imaginar en términos de experiencia cotidiana lo que está muy alejado de ella (aunque esta misma incapacidad nos desafía también en la Física actual de la Relatividad y la Mecánica Cuántica). La falta de refrendo experimental, propia de las cuestiones filosóficas, puede dejarnos también con la sensación incómoda de estar haciendo castillos en el aire, sin verdadera certeza.

A este respecto es necesario insistir en la unicidad de la *verdad*, aunque sea muy difícil encontrarla. No es lícito convertir a la Filosofía en una lista de opiniones que se describen históricamente y por escuelas, a seguir o no según gustos o tradiciones particulares. La «Historia de la Filosofía» no es Filosofía, como tampoco la «Historia de la Física» es Física. Queremos alcanzar un conocimiento *universal y cierto*, entre la multitud de posibles soluciones erróneas para cada problema. Esta certeza puede, en principio, obtenerse por raciocinio lógico, que descarta las soluciones que llevan a conclusiones absurdas o que no son compatibles con otras posiciones (científicas o filosóficas) indudablemente correctas. Si la certeza resulta inalcanzable en un problema, debe buscarse la solución más probable por su coherencia y su fecundidad, no por razones de escuela o gusto personal.

Para tratar filosóficamente de la materia necesitamos basarnos sobre los datos de la ciencia contemporánea. En ella tenemos que distinguir los verdaderos datos experimentales de su interpretación, teñida muchas veces de prejuicios científicos o filosóficos, o distorsionada inconscientemente por la inexactitud de un lenguaje ambiguo, en que la misma palabra tiene un significado muy diverso para el físico y el filósofo. Tal

ambigüedad es obvia en discusiones de *masa, vacío, espacio, azar*, etc., y sus resultados son penosamente visibles en libros y artículos, escritos aun por autores eminentes en sus campos.

El punto de vista histórico, necesario para entender el planteamiento de cada problema filosófico en el marco conceptual de cada autor, es tan sólo de valor ocasional en esta asignatura. Puede aclarar el significado de términos de uso común, y puede hacer más viva una idea, al presentarla como propia de un autor conocido: «Espacio Newtoniano», «Leyes de Kepler», etc. Pero no es necesaria ni una interpretación de textos ni una crítica de significados, influencias o tergiversaciones posibles al atribuir ciertas ideas a determinados autores. Las posiciones filosóficas, como también las científicas, se juzgan sólo por sus argumentos, no por sus autores.

La metodología de este estudio queda delimitada por estas consideraciones. En cada tema, presentaremos lo que la ciencia actual nos ofrece como seguro y de aceptación universal, distinguiéndolo de lo más o menos probable y de lo meramente hipotético. Tal acervo de *datos* no es discutible ni provisional, aunque puedan serlo sus interpretaciones. A continuación, indicaremos los problemas que se nos presentan, más allá de las teorías científicas. Tales problemas, en general, podrían tener varias soluciones filosóficas; deben éstas escogerse o desecharse por sus consecuencias lógicas, compatibles o no con otros datos o principios ya aceptados, en ciencia o en filosofía. La realidad, y su expresión en ideas, no puede encerrar contradicciones.

Conviene, finalmente, hacer una distinción clara entre «Filosofía de la Ciencia» y «Filosofía de la Naturaleza». La primera trata de la *Ciencia*, como actividad intelectual humana, para estudiar su metodología y su validez en la búsqueda de conocimiento objetivo acerca del mundo material. Los procesos de inducción y deducción, la aplicabilidad de leyes, el estudio de errores y extrapolaciones, son temas de esa filosofía que intenta valorar nuestras ideas relacionadas con el conocimiento de la materia, ya sea en Física, Astronomía, o cualquier otra rama de las ciencias experimentales. Es, pues, la Filosofía de la Ciencia, una parte de la *Epistemología* (Teoría del Conocimiento), de carácter subjetivo, ya que trata de lo que ocurre en nuestra mente como representación de la realidad extramental.

En cambio, la Filosofía de la Naturaleza trata de esa *realidad extramental* en sí misma. Es semejante a las ciencias experimentales en ese respecto: quiere describir lo que hay fuera de nosotros, aunque se limite a propiedades no medibles, como extensión de la Física, limitada a lo cuantifi-

cable. Por tener el mismo objeto que ésta, debe basarse en sus datos, y las conclusiones filosóficas no pueden estar en contradicción con los hechos establecidos experimentalmente.

Decía Einstein que todo científico tiene, como base de su trabajo, una doble fe[1] no-científica: la convicción de que *el mundo externo existe*, y de que *es posible entenderlo*, porque es «ordenado», no arbitrario. Podemos también asumir esa doble afirmación para nuestro estudio, dejando a la Epistemología la tarea de justificar la doble fe. Quien no tiene certeza de la existencia de realidades fuera de su mente, no puede hacer ni Física ni Filosofía de la Naturaleza.

* * *

El nombre tradicional de este estudio filosófico ha sido *COSMOLOGÍA*, estudio del *Cosmos*, palabra griega que denota lo existente como algo ordenado, capaz de producir un placer estético por la belleza inherente a todo orden, material o de carácter lógico. La inteligibilidad de las partes y sus relaciones para formar un todo, son la raíz de una belleza buscada y apreciada aun en una fórmula.

En el lenguaje técnico moderno, se da el nombre de Cosmología a la rama de la Astrofísica que trata de la estructura y evolución del Universo en su totalidad. Es, por tanto, una ciencia experimental, de observación y medida, como el resto de la Astrofísica. Por este uso de la palabra, ya consagrado por un sinnúmero de publicaciones sobre el tema, es preferible utilizar para nuestro trabajo el título explícito y descriptivo de *FILOSOFIA DE LA NATURALEZA*.

Sobre la base bien establecida de datos científicos, buscamos una prolongación y una síntesis lógica: por eso queremos saber, primeramente, lo que la Ciencia nos presenta, para no raciocinar en un vacío o sobre bases anticuadas o falsas. Trabajo difícil, por la exigencia doble de conocimiento científico y de seguridad filosófica: no es extraño que haya muy pocos autores que tengan tal maestría y que se atrevan a tocar los temas fronterizos: siempre se reconoce como limitación obvia la propia falta de competencia en muchos campos Pero es en estas zonas limítrofes donde se encuentran los temas más interesantes, por lo que tienen de caminos abiertos a un panorama inagotable.

[1] La palabra «fe» no indica aquí «conocimiento adquirido por testimonio de personas dignas de crédito», ni algo religioso en su origen o contenido, sino una confianza o persuasión razonable, aunque sin demostración explícita previa.

Trataremos de la *NATURALEZA*. Una abstracción en la que se condensa todo lo que puede impresionar los sentidos, directamente (mundo próximo, macroscópico), o indirectamente, con el auxilio de instrumentos. Incluimos así los objetos más remotos, por su distancia o su pequeñez, pero también aquellos que no son sensibles por carecer nuestro organismo de receptores adecuados, pero que se manifiestan como íntimamente relacionados con lo sensible y semejantes a otros fenómenos que sí son perceptibles. No trataremos del aspecto peculiar de la vida, aunque sí de los seres vivos en lo que tienen de base material, común con el resto del Universo y sujeta a las mismas leyes y los mismos procesos.

Nuestra investigación va dirigida, especialmente, a personas con vocación filosófica, pero que quieren conocer el Universo que presenta la Edad Espacial del nuevo Siglo y nuevo Milenio. También se dirige a aquellos científicos que se ven acuciados por preguntas básicas, movidos por la tendencia natural del hombre a «filosofar». De hecho, son científicos la mayor parte de los autores que publican artículos y libros sobre temas científico-filosóficos, pues muy pocos filósofos se encuentran dispuestos a profundizar en datos y teorías científicas.

Vivimos en una época intelectualmente privilegiada. Nunca ha sido el panorama del saber tan interesante como lo es hoy día, por los rápidos avances de los últimos cien años y por los pasos decisivos que se presienten para la comprensión de la materia en sus constitutivos más diminutos y en sus estructuras más gigantescas. Podemos enumerar, sucintamente, algunos temas:

La constitución atómica de la materia, objeto de tantas discusiones seculares, ya no es asunto debatible en Filosofía ni en Física. Hoy se trabaja sin cesar en determinar las familias fundamentales de partículas subatómicas, barruntando un orden que permita acercarnos más al sueño de la sencillez o unidad que repita, a la escala ínfima del «Modelo Estándar», el éxito de la clasificación de los elementos «simples» en el Sistema Periódico. Son ahora las *supercuerdas* las entidades —actualmente sólo matemáticas— que tal vez nos permitan expresar a la materia en sus niveles más profundos. Con el mismo fin, se busca la Teoría de la Gran Unificación de todas las fuerzas conocidas, a niveles de energía que sobrepasan tan drásticamente las energías de los mayores aceleradores que los físicos de partículas tienen que convertirse en cosmólogos para ir en busca de sus comprobaciones al comienzo mismo del Universo.

Hace tan sólo 35 años que se detectó, para sorpresa incluso de los que la predecían, la «radiación del fondo cósmico», reliquia de un origen

ígneo, que todavía llena el espacio con un eco de ondas de radio como un llanto de recién nacido. La palabra *CREACIÓN* se ha hecho parte del vocabulario científico, y se calcula la edad del Universo hacia un pasado en que el Tiempo mismo tiene un comienzo. De sus características, hace casi 20 mil millones de años, se deducen partículas hipotéticas, la densidad actual del Universo, y su evolución futura. Mientras tanto, nuevas técnicas de observación, desde la superficie terrestre y desde el espacio, ensanchan nuestros horizontes y convierten en objetos ya «normales» los descritos hace pocos años con términos nuevos en el vocabulario científico: pulsares, hoyos negros, quasares...

La Teoría de la Relatividad Generalizada no es ya sólo una hipótesis elegante, pero sin confirmación experimental: mediciones de una perfección casi increíble han confirmado varias de sus predicciones más cruciales, incluso las que chocaban contra la experiencia vulgar y científica de siglos pasados. Así sabemos que los fenómenos físicos por los que detectamos el paso del tiempo ocurren más lentamente en un sistema acelerado; que la masa aumenta hasta miles de veces con la velocidad; que el espacio se curva en un campo gravitatorio, produciendo distorsiones ópticas e imágenes múltiples; que la emisión de ondas gravitatorias roba energía orbital a un pulsar doble. Poco a poco se van recogiendo los datos necesarios para responder a la pregunta sobre la estructura geométrica del Universo, y así saber si vivimos en un espacio Euclídeo o curvo, con implicaciones también para el futuro del Cosmos y su expansión.

Al mismo tiempo, la Mecánica Cuántica, que tan fecunda y eficaz ha sido en el desarrollo de la Física de lo pequeño durante este siglo, continúa siendo algo extraño, aparentemente irreconciliable con la Relatividad, y dando lugar a interpretaciones que desafían toda lógica, unas de tipo idealista y otras que implican causalidad instantánea a distancia. Más y más se escucha en los medios científicos la esperanza de un nuevo avance que cambie nuestra visión del mundo como lo hizo la Relatividad a principios de siglo. Los dos grandes pilares de la Física moderna tal vez lleguen a fundirse con las nuevas ideas de estructura de partículas o con las sugerencias de una «Gravedad Cuántica» en que el fondo mismo de espacio-tiempo tiene una estructura granular y es, simultáneamente, base de ondas y vibraciones multidimensionales de todo tipo, incluso de «nudos» que se detectan como partículas. Lo que sí es cada vez más evidente es que la realidad material, tan asombrosa en lo grande, es aún más misteriosa e inimaginable en lo pequeño, desafiando nuestro mismo concepto de materia.

Una mirada histórica general al desarrollo de la Ciencia y de la Filosofía de la Naturaleza, nos hace ver la línea de objetividad y racionalidad que parte de los filósofos griegos y llega hasta nuestros días, bifurcada en Ciencia como trabajo experimental, y en raciocinio filosófico. En todo ello, la cultura de Occidente progresa sobre la base de la distinción indudable entre sujeto pensante y mundo observable. Y no sólo observable, sino también comprensible, por estar sujeto a leyes lógicas que imponen un orden detectable, con mayor o menor claridad, a todos los niveles. Como contraste, las grandes culturas de Oriente, insistiendo en una identificación mística de sujeto y objeto, en procesos cíclicos, en la unión de lo contradictorio, han dejado a un lado el estudio científico. Así vemos Astrología en lugar de Astronomía, recetas mágicas en lugar de Química o Medicina, talismanes y «energías» ocultas en lugar de Física. Esta diferencia en el desarrollo cultural, hecha notar por muchos autores, alcanza aun a la concepción del Hombre y de la Divinidad, y a la relación de ambos con la materia. La frase bíblica optimista, siguiendo a cada etapa creativa del Génesis: «Y vio Dios que era bueno», pone las bases para aceptar en el Cristianismo una Encarnación en que la Divinidad misma se une indisolublemente a la materia. En lugar de negarla, rechazarla, o eliminarla, la ennoblece por encima de toda dignidad imaginable.

De esta Materia, tan íntimamente nuestra, nos atrevemos a tratar en este estudio.

II
OBJETIVIDAD DE LOS SENTIDOS

Conocemos al mundo de la materia por su interacción con los sentidos: órganos materiales que reaccionan a las fuerzas propias de la materia. Toda nuestra actividad cognoscitiva tiene su origen en la sensación, o bien como fuente de datos sobre la materia misma, o como medio para recibir información adquirida por otros observadores. El dicho tradicional: «Nada hay en la mente que antes no haya estado en los sentidos», sigue siendo verdad. No hay ninguna evidencia convincente de conocimientos innatos o de iluminaciones de tipo natural que nos den información directamente sobre el mundo de la materia.

Como todo instrumento finito, también los sentidos tienen posibilidades limitadas de reaccionar ante el mundo externo, tanto desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo. Es claro que no percibimos objetos de tamaño inferior a un umbral de visibilidad o de extensión, como tampoco sentimos sonidos debilísimos o sabores diluidos indefinidamente. En el extremo opuesto, encontramos estímulos que sobrepasan la capacidad de reacción de cualquier órgano: una luz cegadora, un ruido ensordecedor. Es lo mismo que ocurre con cualquier aparato de laboratorio: tiene un rango limitado de sensibilidad.

Cualitativamente, tenemos que aceptar las limitaciones de los sentidos, incapaces de informarnos directamente sobre ondas de radio o televisión, o sobre campos magnéticos o rayos cósmicos. Los sentidos son *ventanas parciales* abiertas a un mundo muy complejo. Tal vez el factor que más contribuye al avance científico es la capacidad de usar nuevos instrumentos para abrir nuevas ventanas hacia el mundo, como ha ocurrido en los últimos cien años con el desarrollo de la radioastronomía o con la puesta en órbita de telescopios de rayos X, ultravioleta o infra-

rojos, indetectables al ojo humano y a los instrumentos que observan a través de la atmósfera.

La pregunta filosófica que nos concierne al comenzar el estudio de la naturaleza puede expresarse de una forma doble: ¿es objetivo nuestro conocimiento del mundo externo, o es nuestra sensación tan subjetiva que no nos dice nada de lo exterior a nosotros? Suponiendo una respuesta que afirma la objetividad, ¿se parece la materia a la imagen que de ella nos dan las sensaciones? Como veremos, las dos preguntas son suficientemente independientes para no poder contestar automáticamente la segunda en función de la primera.

Un ser humano, con el uso normal de todos los sentidos, adquiere la mayor parte de la información por medio de la vista, en una experiencia personal. El oído es mucho menos importante para experimentar la materia en sí misma, aunque tiene, en muchas culturas, una primacía indiscutible como fuente secundaria de información, recibida de otros (en sociedades donde la escritura es importante, la vista es también el canal más amplio de información). Los otros sentidos, gusto, olfato y tacto (con sus múltiples funciones de detectar dureza, textura, temperatura, tamaño...) son más limitados, aunque dan una impresión mayor de certeza fiable, aun en contra del testimonio de la vista o del oído. Tal vez sea así porque estas sensaciones aparecen más como una *reacción propia* a la actividad directa de la materia externa, mientras que la vista (y el oído, en menor grado) parece tener una referencia exclusiva al estímulo externo y distante.

PROBLEMA DE OBJETIVIDAD VERIFICABLE

En todo trabajo científico se manifiesta la objetividad de datos o experimentos en la posibilidad de comprobación independiente por otros observadores, en cualquier otro lugar y tiempo. Pero la sensación es incomunicable: nunca podemos saber exactamente cómo ve otro sujeto lo que nosotros vemos, (aunque usemos el lenguaje de un modo unívoco, llamando —por ejemplo— *verde* al color de la hierba fresca, no sé qué es lo *verde* para otra persona). Menos aún puedo adivinar qué reacción de sabor causa un alimento en una boca distinta de la mía. Esta falta de posible comparación parece relegar las sensaciones al nivel de experiencias tan subjetivas como pueden serlo los sueños. Ni siquiera nosotros mismos podemos establecer una comparación exacta entre una sensación actual

y otra de la que guardamos una memoria. ¿En qué sentido es, filosóficamente, sostenible su objetividad como fuentes de conocimiento del mundo externo? Y si nuestra imagen del mundo es muy parcial, puedo decir que lo conozco correctamente y que hay un parecido básico entre lo que percibo y los objetos de mi sensación?

DATOS CIENTÍFICOS

Aun sin entrar en los detalles propios de la Física y la Fisiología, conviene aclarar qué procesos se dan en las diversas sensaciones para poder evaluar su objetividad. Comenzaremos por hablar de la visión, como proceso de máxima importancia, según hemos indicado antes.

El ojo es un receptor de energía en forma de ondas electromagnéticas, variaciones cíclicas del campo eléctrico y magnético del espacio, vacío o no. En común con cualquier otra «onda», la luz tiene una distancia determinada de cresta a cresta (longitud de onda) y una frecuencia, que indica el número de crestas que pasan un punto dado en cada segundo. El producto de frecuencia y longitud de onda nos da su velocidad en un medio determinado.

Llamamos luz *visible* a la que comprende longitudes de onda que van desde 400 milésimas de micra hasta 700, correspondientes a los colores del violeta al rojo. Longitudes más cortas corresponden, sucesivamente, al ultravioleta, rayos X y rayos gamma, no detectables por nuestro ojo. Longitudes de onda mayores, también invisibles, corresponden al infrarojo, micro-ondas y ondas de radio. Las diferencias son meramente cuantitativas, con mayores energías correspondiendo a longitudes de onda más cortas (frecuencias más elevadas).

Al incidir en la córnea (parte externa, curva y transparente del globo ocular), la luz cambia de dirección para dar en la retina una imagen invertida del objeto fuente de luz. Células foto-sensibles sufren cambios químicos al absorber la energía lumínica, y tales cambios dan lugar a una señal que se propaga por el nervio óptico hasta llegar a la corteza visual del cerebro (parte posterior de la cabeza) Allí se combinan las imágenes de ambos ojos para presentar en forma tri-dimensional (estereoscópica) los objetos del campo visual.

Los datos científicos modernos hacen notar el papel importantísimo que tiene el procesado de imagen por el nervio óptico y por el cerebro. Por ejemplo, es posible observar el mundo a través de lentes prismáti-

cas que hacen que la imagen se forme en la retina sin la inversión que, normalmente, es inherente al proceso visual. En esas condiciones, el sujeto ve las cosas inicialmente invertidas, pero bastan unos días para que el cerebro re-interprete los estímulos y los haga coherentes con los otros datos sensoriales que nos indican posiciones de «arriba» y «abajo», e incluso con los datos de sensaciones previas. Esto ocurre en nuestra experiencia cotidiana del color: mientras que una película fotográfica reacciona de forma muy distinta a la luz del día o a lámparas incandescentes o fluorescentes (colores rojizos o verdosos cuando se hacen fotos en esas condiciones con película de luz diurna), el ojo y cerebro compensan tales diferencias de iluminación para hacernos ver con color «normal» a personas dentro o fuera de casa.

El poder de resolución del ojo (finura máxima de detalle discernible) viene limitado por la naturaleza de la luz como onda y por la separación de células sensibles en la retina. Suele decirse que el tamaño angular mínimo para el ojo normal es de un minuto de arco (una treintava parte del diámetro aparente de la Luna o el Sol). Tamaños inferiores se perciben como puntos sin dimensiones.

La resolución del ojo es máxima para imágenes formadas sobre la mácula, en el eje óptico, donde abundan las células en forma de cono que son poco sensibles a la luz, pero tienen sensibilidad al color y «grano» muy fino. Por eso miramos fijamente al objeto que queremos observar en detalle. En cambio, para objetos de muy débil luminosidad, entran en juego los «bastoncitos», de grano grueso, incapaces de diferenciar colores, pero de enorme sensibilidad a la cantidad mínima de luz. Por eso vemos a las estrellas casi uniformemente blancas, mientras que con un telescopio, o usando película fotográfica, es posible ver que tienen gran variedad de colores. Y objetos de luminosidad muy débil se perciben más fácilmente si se miran no de frente, sino un poco fuera del centro del campo visual.

Anomalías visuales

Es conocida la limitación frecuente de la percepción cromática llamada «Daltonismo», en que colores de tonos rojizos difícilmente se distinguen de sus correspondientes tonos verdosos. Casos extremos se dan raramente en que no hay percepción de color como tal, sino solamente de tonos grises.

El fenómeno opuesto se da también, aun para el ojo normal. La combinación de imágenes monocromáticas (fotos hechas en blanco y negro en longitudes de onda distintas) dan lugar a una imagen con colores correctos cuando se combinan con un proyector o con visión estereoscópica. En forma semejante, un disco que gira con segmentos negros sobre fondo blanco, puede dar lugar a que se vean colores diversos según la velocidad y la intensidad de la iluminación.

Finalmente, es común la experiencia de «fosfenos», sensaciones luminosas por estímulos de presión sobre el ojo, ya sea en forma controlada o accidental. Y la estimulación directa del cerebro con pequeños electrodos puede hacer «ver» con extraordinaria viveza objetos de sensaciones muy lejanas en el tiempo.

Si nos fijamos en los objetos que aparecen en nuestra experiencia visual, debemos prestar atención a aquellos que tiene colores diversos según las condiciones de observación. Burbujas de jabón, manchas de aceite sobre el agua, plumas de pavo real, cambian drásticamente de color según el ángulo de incidencia de la luz y la posición del ojo. No es posible, por ejemplo, obtener pigmentos verdes y azules de una concha nacarada en la que vemos esos colores con una viveza tan atrayente. Verdaderamente no puede pensarse que ese color es una propiedad del objeto en sí: depende de las condiciones de observación. La misma existencia del objeto parece cuestionable cuando observamos espejismos o imágenes super-reales producidas con simples espejos cóncavos o con métodos holográficos. Proyecciones tridimensionales, sean fijas o en el cine, nos hacen reaccionar instintivamente como lo hacemos ante la realidad.

La evidencia visual directa también parece contradecir los datos científicos acerca de la estructura de la materia de apariencia más sólida. Ni siquiera la corroboración táctil es fiable: lo que mis sentidos me dan como continuo, impenetrable, sin huecos, es una nube de partículas en movimiento a distancias mutuas comparables en escala a las que hay entre los planetas. Realmente es un desafío a la reacción de «sentido común» que nos hace creer que las cosas son exactamente como las vemos.

El ojo puede recibir la ayuda de instrumentos que recogen gran cantidad de luz para hacer visibles objetos muy débiles (telescopio) o muy pequeños en tamaño angular (telescopio, lupa, microscopio). Mientras lo único que haga el instrumento sea un cambio cuantitativo del estímulo, para hacerlo perceptible al ojo, lo dicho hasta aquí es aplicable también a esa experiencia sensorial mediatizada por el aparato.

Otras sensaciones

El estímulo para el oído es también una onda, pero de índole mecánica: compresiones y rarefacciones en un medio material, normalmente el aire. Las frecuencias que son audibles para el oído humano en condiciones óptimas van desde los 20 a los 20000 ciclos (vibraciones por segundo, Hertzios). Durante la edad adulta hay una pérdida constante de sensibilidad que afecta, sobre todo, a las frecuencias más altas. La «definición» sonora, capacidad de percibir como diversas dos frecuencias muy próximas, varía notablemente de un sujeto a otro, y parece depender en gran parte de la educación, no sólo de índole musical sino lingüística (por ejemplo, la necesidad de distinguir tonos es parte importante del aprendizaje de la lengua china, y la pronunciación correcta de otra lengua depende muchas veces de una educación para distinguir sonidos que se consideraban idénticos).

Así como el estímulo visual es modificado y combinado en el nervio óptico y en el cerebro, el estímulo auditivo lo es también. Pequeñas diferencias en el tiempo de llegada a ambos oídos, de intensidad y de fase, nos permiten localizar la fuente sonora, lateralmente y en profundidad: gran número de investigaciones para la reproducción musical de alta fidelidad se encaminan, precisamente, a dar la sensación de distancia y disposición de los instrumentos de la orquesta.

Mientras el ojo no puede separar los componentes de distintas longitudes de onda en un haz de luz, sino que ve un color resultante único, el oído sí puede distinguir las diversas frecuencias, aun en algo tan complejo como un pasaje orquestal. A un nivel más bajo, en la vida diaria, podemos distinguir una voz o un sonido que nos interesa contra el fondo de ruido de un grupo numeroso («efecto cóctel»). Y podemos ser perfectamente conscientes de varios sonidos independientes, con suficiente atención para notar claramente si uno de ellos varía, aun mínimamente. También es notable la gama de sensibilidad auditiva en términos de intensidad: la presión sobre el tímpano correspondiente al sonido audible más débil es unos 10.000 millones de veces menor que la presión atmosférica normal. La razón de presión del sonido más fuerte al más débil es del orden de 10.000 billones.

Los demás sentidos reaccionan a la presencia inmediata del objeto, en contacto más o menos íntimo con el órgano sensorial. El gusto reacciona a la actividad química de cuerpos solubles en la saliva. El olfato reacciona a moléculas de gases que parecen encajar, según su forma, en

receptores específicos de las fosas nasales. El tacto reacciona a presiones, uniformes o variadas para dar la impresión de textura lisa o áspera, a reacciones químicas que afectan a la piel; a diferencias de temperatura con respecto al órgano (el metal, por su conductividad con respecto a la piel, parece más caliente o más frío que la madera, aun a idéntica temperatura). Cuando la interacción es destructiva tenemos la sensación de dolor, que tiende a enmascarar lo específico del estímulo (sensación equivalente ante un objeto que quema o uno que es extremadamente frío).

Una vez más, la sensibilidad de cada sujeto varía enormemente para el gusto y el olfato. Aunque la sensación misma es incomunicable, es lógico pensar que difiere drásticamente cuando el mismo alimento es apreciado como exquisito por una persona mientras produce repugnancia y desagrado a otra. Lo mismo puede decirse del olfato, y podemos añadir que ambos sentidos tienen un componente muy obvio de experiencia o condicionamiento a partir de la infancia. Incluso las reacciones táctiles, sobre todo a la temperatura ambiente, parecen extremadamente subjetivas y dependientes de la experiencia que condiciona al cuerpo para reaccionar a cambios climáticos.

En el reino animal se dan, en general, los mismos sentidos en la mayoría de los organismos macroscópicos que en el hombre: observamos reacciones a estímulos lumínicos, sonoros, químicos. Pero la relativa importancia de cada sentido es muy diversa: el mundo sensorial de un perro está dominado por el olfato, por ejemplo. También es muy diversa la gama de estímulos aceptables, que se extienden a los ultrasonidos en exceso de 40.000 ciclos para un perro, y al ultravioleta para la visión de las abejas, mientras hay serpientes que encuentran su presa mediante receptores de infra-rojo. Hay también, en algunas especies, sentidos totalmente nuevos: algunos peces pueden detectar directamente campos magnéticos o eléctricos, reaccionando de diversa manera a la presencia de materiales conductores o aislantes, sin contacto con ellos. Sentidos de orientación magnética parecen también ser responsables del comportamiento de aves migratorias.

La tecnología moderna permite al hombre detectar cualidades materiales que no impresionan nuestros sentidos, por mucho que se modifique su intensidad. Para ello debemos transformar el estímulo en otro que sea sensible y que guarde una relación de analogía con el original. Podemos, por ejemplo, obtener señales acústicas correspondientes a ondas de radio; podemos crear imágenes visibles a partir de rayos X o

de resonancia magnética de órganos en estudios médicos. Mientras sea demostrable la correlación constante entre el estímulo original y su representación sensible, el problema filosófico no es esencialmente distinto.

¿SON FIABLES NUESTRAS SENSACIONES?

La interacción estímulo-órgano sensorial tiene una dependencia clara de ambos extremos de la relación y de las condiciones bajo las que ocurre. En forma esquemática, podemos indicar las siguientes razones para poner en duda la validez objetiva de nuestro conocimiento sensible:

— Algunas sensaciones (gusto, olfato, tacto...) son tan subjetivas que parece imposible relacionarlas de forma unívoca con el objeto externo.
— Aun las sensaciones de aspecto más objetivo (vista, oído) son estrictamente incomunicables y no pueden compararse de un sujeto a otro. Para el mismo sujeto, no son tampoco cuantitativamente comparables o reproducibles con exactitud.
— Hay una dependencia de la sensación con respecto a condiciones internas (desorden fisiológico, estímulos previos de gran intensidad) y externas (estímulo monocromático o iluminación insuficiente o peculiar).
— Estímulos inapropiados (un golpe) pueden causar sensaciones no relacionadas con ellos: luz, sonido.
— Estímulos aplicados directamente al cerebro (pequeñas corrientes eléctricas) dan lugar a sensaciones diversas, según la zona del cerebro. Tales sensaciones pueden ser de extraordinaria viveza, sobre todo volviendo a hacer consciente como actual una sensación pasada.
— Cualidades atribuidas al objeto (color, localización), cambian según cambien las condiciones de observación: ángulo, tipo de luz.
— Se dan objetos cuyas cualidades sensibles cambian según sea su tamaño: soluciones coloidales de oro, por ejemplo, varían de color según el tamaño de las partículas. La plata finamente dividida de una imagen fotográfica, es negra.
— Finalmente, los datos sensoriales son claramente incompletos. ¿Podemos realmente afirmar que conocemos la realidad, apenas vislumbrada a través de una rendija tan estrecha?

Las respuestas negativas dadas a lo largo de la historia pueden agruparse en dos campos. Desde el punto de vista de la Física, se ha negado

la objetividad de la sensación haciendo notar que toda la materia está compuesta de unidades ínfimas (átomos, en un sentido más o menos moderno), y que tales unidades no son perceptibles por los sentidos ni puede asignarse a ellas color o sabor o cualquier otra cualidad correspondiente a nuestras sensaciones. Esta era ya la postura de los atomistas griegos, comenzando con Demócrito y siguiendo con Protágoras, Epicuro y Zenón. En épocas más recientes, Descartes sólo admite la extensión como realidad física de los cuerpos; Heisenberg representa la actitud de la Física actual negando las cualidades sensibles de los átomos.

Desde el campo de la psicología experimental, se niega la objetividad de las sensaciones basándose en su dependencia del órgano. La *Ley de Weber y Fechner* lleva a Müller a aceptar solamente en los sentidos una capacidad de reaccionar a diversos estímulos de una forma específica para cada órgano receptor. Podría expresarse esta posición diciendo que el sentido es solamente un indicador de la *presencia* de un estímulo, pero sin decirnos nada sobre sus cualidades o el mundo externo del que proviene. Algo semejante parece corresponder a la posición filosófica de Locke: las cualidades sólo existen como causa (desconocida) en sus sujetos. Lógicamente, la posición Kantiana, que reduce el carácter espacial de las sensaciones a algo innato en el hombre, (como veremos en el tema siguiente) comporta también la negación de la cognoscibilidad de aquello que se esconde tras el fenómeno, y últimamente, del mismo mundo externo.

Finalmente, se niega muchas veces la objetividad de las sensaciones por una utilización poco precisa del lenguaje. Esta es la base de preguntas como «¿Hay sonido si cae un rayo en el desierto?»; «¿Hay color si nadie lo ve?». Tales objeciones juegan con el significado múltiple de la palabra *sonido* y *color*. Para el físico, esos nombres se refieren al *estímulo* energético que va directamente al órgano: una onda electromagnética de una longitud determinada, o una onda mecánica de una cierta frecuencia. En cambio, para el fisiólogo, las mismas palabras son indicativas de la *reacción* en el órgano sensorial. Finalmente, el psicólogo las aplica a la *percepción consciente*. Basta con determinar el significado de la palabra en la pregunta para tener automáticamente una respuesta inequívoca: la caída del rayo produce ondas sonoras (sonido físico), que pueden actuar sobre el tímpano de alguien dormido dando lugar a una señal (sonido fisiológico), que no es consciente si el sujeto no se despierta (no hay percepción psicológica).

Es también incorrecto decir que la vista nos engaña cuando observamos un espejismo y creemos que hay una charca en una carretera o en

el desierto. Lo que la vista me da es luz reflejada de una superficie lejana, pero el dato sensorial no contiene información de la naturaleza de esa superficie: podría ser un vidrio, o agua, o aire caliente (que es el que produce el espejismo). Los sentidos no emiten juicios: simplemente reciben estímulos dentro de su capacidad limitada.

SOLUCIÓN FILOSÓFICA

Desde un punto de vista pragmático y «a priori», es claro que el papel de los sentidos en el mundo viviente es el de servir a la supervivencia del individuo y de la especie. Los sentidos muestran una adaptación evolutiva al ambiente: el ojo humano, por ejemplo, tiene su máxima sensibilidad al color amarillo-verdoso en correspondencia con el máximo de intensidad de la radiación solar dentro de la gama de ondas electromagnéticas. Lo mismo se encuentra en otros seres vivientes, con sentidos especializados según su propio habitat. Debe esperarse, por tanto, que los sentidos sean normalmente fiables: de otro modo, llevarían a la muerte del individuo y la desaparición de la especie.

Más concretamente, si los sentidos son órganos materiales adaptados a estímulos del mundo externo, debe esperarse una cierta semejanza o conformidad con ese mundo externo para que sea posible la interacción. Lo contrario sería científica y filosóficamente absurdo: dos cosas que no tienen *nada* en común, no pueden afectarse mutuamente.

Puestas estas bases generales, debemos también hacer notar que no es lo mismo tener una información *incompleta* que tener información falsa. Solamente se da este paso lógico cuando se afirma conocer *todo*, cuando en realidad sólo se conoce en parte. Y la falsedad sólo puede darse estrictamente en un *juicio*, no en una reacción a un estímulo. Si yo veo un bulto oscuro a gran distancia, el contenido de mi sensación es sólo ése: «bulto *oscuro lejano*». Si juzgo que ese bulto es una persona determinada, estoy yendo más allá de los datos sensoriales inmediatos, tal vez por un proceso de interpretación basado en experiencias previas, que se utilizan para complementar el dato presente. Si la conclusión es equivocada, no puedo culpar del engaño a mi sensación, sino a la deducción basada en *evidencia insuficiente*. Más importante todavía es tener esto en cuenta cuando los sentidos no me dicen *nada* acerca de la realidad a un nivel *inaccesible* para ellos, por ejemplo, el nivel atómico de la constitución de la materia.

¿Qué se requiere como mínimo para poder decir que los sentidos son objetivos o veraces? La respuesta más directa podría expresarse diciendo que deben tener la misma relación a su estímulo que la aceptada como suficiente en los instrumentos científicos: una *correlación constante y proporcional entre estímulo y reacción*, dentro de los límites de cada instrumento. Por ejemplo, nos fiamos de un voltímetro como indicador objetivo de la tensión entre dos contactos de un enchufe eléctrico, si siempre nos muestra el mismo desplazamiento de la aguja indicadora cuando mide la misma fuente. O consideramos fiable un termómetro si siempre marca cero cuando se congela el agua y 100 cuando hierve. No pedimos ninguna otra cualidad de semejanza entre la indicación del instrumento y la realidad medida.

Nuestros sentidos tienen este grado de objetividad, suficiente para ser útiles y para ser fuentes de conocimiento del mundo externo, *siempre que se den unas condiciones claramente lógicas*:

— deben actuar bajo un estímulo apropiado, cualitativa y cuantitativamente (dentro de sus límites de umbral y techo).
— no deben estar en condiciones que modifiquen su capacidad como resultado de enfermedad, estímulo excesivo previo, o condicionantes externos que impidan su uso correcto (por ejemplo, con un ojo cubierto, no podré juzgar correctamente la distancia).
— el estímulo debe contener la información que se requiere: no es posible que el ojo descubra el color verde de un objeto si se ilumina a éste exclusivamente con luz roja.
— si la información es asequible a varios sentidos, todos deben usarse conjuntamente. Por ejemplo, no debo juzgar la dureza o peso de un objeto solamente por su aspecto visible, sino también por el tacto.

Bajo estas condiciones, cuando los sentidos me informan de la *existencia* de un objeto externo, puedo aceptar este conocimiento como objetivo. Si el ojo me presenta como fuente de luz un objeto de forma, dimensiones y color determinados, el objeto existe con esas propiedades. Aunque los átomos del objeto no tengan color individualmente, la *estructura macroscópica* —única detectada por el sentido— sí lo tiene, pues es capaz de reflejar o emitir selectivamente ciertas longitudes de onda. Lo mismo puede aplicarse a los demás sentidos.

¿Se *parece* el dato de nuestra sensación al agente externo que la produce? En general, debemos responder negativamente. Es verdad que los sonidos de más baja frecuencia se perciben casi tanto como vibraciones

de todo el cuerpo como en forma de sonido propiamente dicho. Pero esto no ocurre con las frecuencias medias o altas. Y si es verdad también que los colores de muchos objetos muestran una relación entre sus dimensiones y la longitud de onda (por ejemplo, el cielo es azul porque las moléculas del aire son del tamaño de la longitud de onda de ese color), como nuestro ojo *no percibe esas dimensiones* ni nos informa de ellas, es más correcto aceptar la falta de semejanza entre estímulo y sensación de color.

Tal vez pudiera decirse que en el tacto, con respecto a la extensión, hay una correspondencia más estrecha entre el objeto, cuyas partes integrantes aparecen en distintos lugares, y la sensación producida por esas partes en diversos centros receptores de la piel. Incluso la visión, en cuanto manifiesta tamaño no puntiforme, corresponde reaccionando con centros receptores diversos a las diversas partes emisoras de luz en el objeto; sin embargo, en este caso, *no somos conscientes* de la estimulación de centros receptores múltiples, de modo que esa diversidad no es dato sensorial.

En términos filosóficos más generales podría darse, entre el estímulo y la sensación, una correspondencia *unívoca, equívoca o analógica*. En una correspondencia unívoca, el estímulo y su efecto son del mismo orden: una presión produce otra presión correspondiente, por ejemplo. O en un proceso fotográfico, la distribución de luz y sombras en el objeto puede ser fielmente imitada por las luces y sombras de la foto. En un proceso de correspondencia equívoca, por el contrario, no hay parecido alguno entre el estímulo y el resultado, de modo que sería imposible deducir el uno del otro: por ejemplo, del sonido musical de una radio no puedo inferir la forma de sus componentes electrónicos. En el caso de correspondencia analógica, hay una similitud parcial. El movimiento de una aguja en un voltímetro, sigue las fluctuaciones del voltaje con una proporcionalidad de analogía, suficiente para inferir esas variaciones.

El conocimiento sensorial es *analógico*: se mantiene una correlación de proporcionalidad entre estímulo y sensación dentro de los límites de ésta. No se nos da una imagen del mundo en una representación exacta y del mismo orden, sino una imagen transformada, pero de contenido fielmente ajustado al estímulo. Por eso es posible conocer lo que está fuera de nosotros, en una serie de inferencias y deducciones que van desde la actividad más elemental de la experiencia común hasta las observaciones y experimentos más avanzados de las ciencias físicas.

Los mismos científicos que niegan el valor de las sensaciones como fuente de información sobre los cuerpos, porque no son aplicables sus

datos a sus constitutivos atómicos, aceptan los resultados de observaciones experimentales sobre cuerpos macroscópicos, e incluso las utilizan para inferir las propiedades de esos átomos invisibles. Los resultados no se presentan como descripciones arbitrarias, sino como verdadera representación de esos niveles ínfimos de la realidad. Negar la objetividad de las sensaciones equivaldría a cerrarse en la ignorancia científica.

Esta posición puede propiamente llamarse de un *REALISMO MODERADO*. Evita el optimismo ingenuo de un realismo extremo, que quiere afirmar que las cosas son exactamente como las percibimos, ni más ni menos. Tal posición es incompatible con los conocimientos científicos actuales. Evita también la posición pesimista de un idealismo que se cierra en sí mismo, negando todo conocimiento objetivo y llevando lógicamente a la imposibilidad de hacer ciencia y aun de ser consecuentes en nuestro proceder diario.

Sobre la base de nuestra confianza en los sentidos, podemos proceder a estudiar ese mundo que se hace nuestro a través de ellos. Ya en la actividad sensorial encontramos los aspectos de la realidad que han sido centrales durante siglos para el estudio filosófico: características espaciales, extensión; cambio local y cambio cualitativo, con la implicación de paso del tiempo y de actividad de la materia. Los mismos temas siguen siendo terreno fértil para el estudio propio de la Filosofía de la Naturaleza, que quiere ahondar en el conocimiento de lo que parece más obvio y, en cambio, se muestra cada vez más rico y misterioso: la materia.

III
ESTRUCTURA ESPACIAL DEL MUNDO

El primer dato que recibimos de la totalidad de nuestras sensaciones es el que nos muestra una realidad externa dotada de un carácter espacial que se manifiesta como localización, distancia y extensión. Los objetos que actúan sobre nuestros órganos sensoriales tienen localizaciones diversas, percibidas por la vista, el oído, el tacto: por esta razón se distinguen como diversos aunque se perciban simultáneamente y con estímulos del mismo tipo. La diversidad de lugar original se corresponde con la diversidad de detector en el órgano: diversas células estimuladas en la retina o en la piel; diversa intensidad en la excitación sonora de ambos oídos. La diversidad de lugar en la sensación se traduce en distancia entre los objetos que ella muestra o entre sus partes. Así llegamos también al concepto de extensión que afirma distancia entre partes de un objeto único o considerado como uno.

En todos estos casos es básica la constatación de «*diversidad* de lugar». La idea misma de lugar, sin embargo, exige una mayor explicación filosófica, pues necesitamos precisar exactamente su contenido si hemos de entender claramente qué significan distancia y extensión.

LUGAR EXTRÍNSECO E INTRÍNSECO

El concepto más intuitivo y elemental de lugar contiene un sistema de referencia últimamente anclado en el observador. Sabemos dónde está algo si podemos referirlo, mediata o inmediatamente, a nuestra propia posición. A su vez, ésta viene especificada por referencias de un entorno inmediato a nosotros, conocido directamente por nuestros sentidos y percibido como externo a nosotros. Tenemos así el origen del concepto

de *lugar extrínseco*, bien para situarnos a nosotros mismos o para cualquier otro cuerpo: el *conjunto de cuerpos de situación conocida* que nos permiten describir la posición de otro al que rodean. Es un concepto básicamente de orden cognoscitivo, *pragmático*, que parece perder su aplicabilidad si no hay referencias conocidas: un astronauta perdido en la negrura del espacio, sin la ayuda de instrumentos especiales, no puede saber dónde está. Y el Universo, considerado como la totalidad de cuanto existe de orden material, naturalmente no tiene referencia posible externa a él, ni está, por lo tanto, en ningún lugar extrínseco.

Sin embargo, no podemos menos de sentir la necesidad de afirmar que cualquier cuerpo *ocupa* un lugar, identificado con su volumen, del cual excluye otro cuerpo cualquiera. Por lo menos como abstracción, en que ese *lugar intrínseco* aparece como medida de magnitud corpórea sin propiedades específicas, este concepto es parte normal de nuestro modo de pensar y expresarnos: un objeto necesita un lugar mayor o menor; el astronauta está «en el espacio» sin referencias conocidas; el Universo mismo *ocupa* un volumen determinado aunque no haya entorno alguno dentro del cual podamos describir su localización.

El lugar extrínseco se convierte en intrínseco en el límite de la superficie del cuerpo. Por eso es tradicional la definición de aquel como «*superficies corporis ambientis, immovilis, prima*»: la superficie del cuerpo circundante, en contacto inmóvil e inmediato con el cuerpo que consideramos localizado. Solamente si el entorno inmediato está en movimiento (como el agua de un río en que nadamos) utilizaremos como referencia localizadora otro cuerpo más distante, realmente inmóvil o considerado como tal en el contexto utilitario en que sirve como apoyo cognoscitivo suficientemente estable y conocido.

Es necesario subrayar el carácter meramente descriptivo del lugar *extrínseco* y su valor parcial: *supone conocida la localización de otros objetos* para formar el marco de referencia para el que queremos localizar. Llevada a su extremo lógico, esta necesidad de localización previa nos obliga a un proceso sin fin o a un círculo vicioso: cada objeto está localizado porque le rodean otros objetos ya localizados a su vez, o por otros más, o por un entorno que incluye al primero. Siempre nos queda la necesidad de conocer localizaciones para establecer una nueva localización.

En cambio, el lugar *intrínseco* parece independiente de ese proceso indefinido o circular. El volumen ocupado por el cuerpo es el mismo dondequiera que se encuentre, haya o no otros a su alrededor. Es también independiente del contacto o del movimiento, ya que no tiene refe-

rencias externas. Lo mismo es aplicable a la extensión, que no es más que una consideración parcial del volumen: cualquier medida del cuerpo extenso aparece como una *propiedad intrínseca* a él, lo mismo que su dureza, su color o su masa.

Es importante también, en relación con el concepto tradicional de lugar extrínseco, el hacer notar que el contacto y la inmovilidad no son verificables en el mundo físico al nivel ínfimo de la materia. Ciertamente no se da contacto entre cuerpos macroscópicos: la Física nos habla de fuerzas de repulsión que limitan el posible acercamiento de partículas dotadas de carga eléctrica. Tampoco conocemos nada en reposo estricto, ni permite la Física distinguir entre un hipotético reposo absoluto y cualquier movimiento uniforme. Solamente una teoría de *continuidad* en algo no detectable («vacío físico») podría servir de base para la exigencia filosófica de contacto si se insistiese en ella para justificar el concepto de lugar extrínseco.

Una vez que aceptamos nuestra experiencia del mundo externo como debida a algo dotado de características espaciales, según lo expuesto, se plantea el problema filosófico de justificar tal experiencia. ¿Qué corresponde a ella en la realidad? *¿Qué corresponde, objetivamente, a nuestra afirmación de que hay diversidad de lugar, distancia, dimensiones?* Con la pregunta en su forma más amplia: ¿qué es el Espacio?

SOLUCIONES PROPUESTAS

Las posibles respuestas, encontradas a lo largo de la historia, pueden reducirse lógicamente a varios apartados, según el grado de objetividad que se asigna al «espacio» como base de explicación del lugar y la distancia. O, mejor, según la respuesta que se dé a la pregunta ya formulada: *¿Qué hay en la realidad que fundamente las relaciones de localización y distancia?* Brevemente se pueden indicar las alternativas:

— La respuesta más radical la formulan los autores que niegan todo fundamento objetivo a nuestras sensaciones espaciales. Kant las atribuye exclusivamente a una actividad *inconsciente, necesaria e inmutable* de nuestra función cognoscitiva. Si las cosas en sí tienen alguna característica espacial, esta sería incognoscible. Ni el lugar extrínseco ni el intrínseco, ni la distancia ni la extensión pueden considerarse como realidades fuera de nosotros: es nuestra función cognoscitiva sensitiva la que en forma automática (*forma a priori*) pone el *sello de espacialidad* a nuestras sensaciones externas.

— Si se considera, por el contrario, que nuestras percepciones espaciales corresponden exactamente a *una* realidad objetiva, tenemos el «*Espacio Absoluto*», explícitamente propuesto por Newton: según él, todo cuerpo existe encasillado en una realidad previa e independiente, homogénea y físicamente inerte. Esta corresponde a nuestra imagen inevitable de un «vacío» que permanece aunque desaparezcan los cuerpos; que es necesario para que estos puedan existir, que no tiene límites ni puede menos de darse *independientemente* de toda otra realidad material. Llamado también «espacio imaginario» o «Newtoniano», sirve de receptáculo universal y fundamenta las relaciones de distancia entre los cuerpos reales o posibles. El lugar *intrínseco* no es sino una parte de ese espacio único, compenetrada con el cuerpo localizado en él.

El mismo Universo, considerado en su totalidad, debe ocupar un volumen dentro de un espacio *infinito*, donde podría encontrarse en otro lugar distinto; también podría moverse con movimiento real, absoluto, sin referencia alguna. Newton, considerando solamente un espacio tridimensional, tiene que afirmar su *infinitud*, para no caer en la antigua paradoja de decir que el espacio se acaba (es limitado) y al mismo tiempo inferir que hay un espacio al más allá del límite.

El lugar *extrínseco*, por otra parte, no es más que el entorno material que sirve de marco de referencia útil para *describir* (no constituir o explicar filosóficamente) la posición de un cuerpo, ya que el espacio mismo no es detectable.

— Entre el idealismo Kantiano y el realismo total de Newton hay una gama de soluciones intermedias, que coinciden en afirmar una *multiplicidad* de realidades materiales con carácter espacial, fundando así en algo objetivo nuestra persuasión inevitable de que la localización, sobre todo percibida como *distancia y extensión*, es parte de la realidad externa a nosotros, pero captada por su interacción con nuestros sentidos. Las diversas opiniones difieren al buscar ese elemento objetivo: algo primariamente debido a *relaciones* con cuerpos circundantes al que vemos localizado, o bien algo *absoluto* propio de ese cuerpo e independiente en su realidad de la existencia de otros cuerpos a su alrededor.

a) La primera solución da importancia filosófica *solamente al lugar extrínseco*, que localiza al cuerpo en que nos fijamos al proporcionar un entorno en el que es *posible describir* su posición por medidas de distancia. Podemos decir que se reduce el problema filosófico al de la

cognoscibilidad del lugar, o, al menos, considera inseparable esta cognoscibilidad de la realidad de la localización. Las referencias de localización pueden darse aun con vacío entre los cuerpos (Tomistas) o exigen contacto con algo extenso y continuo (Balmes: «*si entre dos cuerpos no hay nada, necesariamente se tocan*»). Descartes, haciendo consistir la esencia de los cuerpos en su extensión, coincide con estos autores en exigir el contacto con un cuerpo extenso para que pueda estar localizado algo también corpóreo.

b) En cambio Suárez y otros autores consideran que *el lugar intrínseco* tiene la primacía filosófica: un cuerpo está en su lugar con *prioridad lógica* respecto a sus posibles relaciones de distancia a otros cuerpos que le rodean por estar, a su vez, en sus lugares correspondientes. Se acepta, naturalmente, que las *referencias extrínsecas son necesarias* para la *cognoscibilidad* de la localización, pero *no la constituyen*: un cuerpo está localizado realmente por algo que le afecta en su ser accidental *en forma absoluta*. Este «algo» es el fundamento *objetivo* de las relaciones de distancia, cuya trama forma el lugar extrínseco.

Todas las opiniones expuestas, excepto la de Newton, coinciden en atribuir al «*espacio*» el carácter abstracto de ser una *construcción mental* basada en las localizaciones individuales de los cuerpos existentes o posibles. No hay un Ser real, independiente de los cuerpos, que corresponda a nuestra imagen del espacio como receptáculo de la materia. Como tampoco existe una «Humanidad» como ser real distinto de los individuos que la componen. A este respecto, es importante distinguir al «espacio» como concepto filosófico del espacio físico, con propiedades experimentalmente verificables, como se explicará al fin de este capítulo.

Al estudiar críticamente las diversas posiciones necesitamos confrontarlas con la necesidad de coherencia lógica en sus presuposiciones y con la necesidad de explicar la experiencia indudable de la *diversidad de lugar, la distancia y la extensión.* Esto no quiere decir que la solución sea intuitivamente satisfactoria o imaginable: la imaginación no es facultad filosófica, ni puede darnos más que combinaciones de lo que ofrece la experiencia sensible. Pero toda afirmación científica o filosófica exige coherencia interna y no llevar lógicamente a consecuencias absurdas. Con estos criterios, es posible eliminar algunas teorías y llegar, probablemente, a una posición que se muestra como la única aceptable, aunque en temas tan difíciles quede siempre una cierta sensación de falta

de claridad. Por otra parte, esta misma sensación acompaña hoy a la mayor parte de los estudios científicos sobre la estructura profunda de la materia.

ESPACIALIDAD SUBJETIVA

El punto de vista Kantiano admite que nuestros sentidos reaccionan ante el «*noúmeno*», aunque es *imposible conocer nada* de él. El carácter espacial que le atribuimos se adscribe únicamente a nuestra actividad innata e inconsciente. En esta posición, *sin prueba alguna*, se implica que el mundo externo, aunque tiene una interacción con nuestros sentidos, no tiene *nada* en común con ellos, ni siquiera como capacidad de causar un conocimiento *analógico*. Tal afirmación es *gratuita y falta de lógica*: toda interacción supone una comunidad de propiedades, por muy tenue que sea el vínculo común. En realidad, la negación de la cognoscibilidad —al menos analógica— del mundo externo, destruye la posibilidad de toda ciencia de la materia, y lleva lógicamente a un idealismo total, aunque Kant no lo sostuviese. Como decíamos al hablar de la veracidad de las sensaciones, nuestra propia supervivencia sería imposible: si no hay objetividad alguna en los datos de distancia, extensión, movimiento local, toda actividad humana sería absurda. En lugar de dar una solución al problema planteado, se hace totalmente insoluble y se extiende hasta límites que destruyen toda posibilidad de comprensión filosófica o científica del mundo material.

Si quisiésemos mantener la objetividad de la distancia y el movimiento, nos veríamos obligados a atribuir las diversas distancias (por ejemplo, entre ciudades) a una asignación (¿arbitraria, sin causa?) de nuestra «forma a priori», y a ella también se debería el movimiento más o menos penoso y rápido que nos permite recorrerlas. Si el cambio de localización, propio o de otros objetos, no tiene causa externa al sujeto cognoscente, deberá darse por causas internas que afecten a la forma innata (¿cuáles? ¿por qué?), o sin causa que no sea últimamente una programación inicial o una forma de causalidad única de Dios. Cualquiera de estas hipótesis se muestra como inaceptable filosóficamente e incompatible con el trabajo científico.

ESPACIO ABSOLUTO

La propuesta Newtoniana tiene un inmediato atractivo por su correspondencia a nuestra imaginación. Su dificultad lógica se encuentra no tanto en lo que pueda tener de afirmaciones teológicas inaceptables o en sus detalles de infinitud y necesidad afirmadas del Espacio, cuanto en el problema básico de querer explicar la *diversidad* de lugar por un ente *único y homogéneo*, sin diversidad alguna. Si todos los puntos del Espacio Absoluto son *idénticos* en todo, la ocupación por el cuerpo de una parte u otra de ese espacio no puede constituir una explicación de que el cuerpo esté en un lugar o en otro, a no ser que ya se afirme una *previa diversidad de lugar* en ese espacio, con lo cual no se ha resuelto el problema, sino que se ha trasladado a la estructura misma del espacio *sin estructura*. No teniendo una razón de la diversidad de lugar, tampoco puede haberla para la distancia ni para la extensión ni el movimiento.

Suponiendo que modificamos la propuesta Newtoniana del espacio absoluto, evitando su eternidad e infinitud y todas sus connotaciones teológicas (ya que Newton lo identificaba con la Inmensidad divina), todavía podemos encontrar razones para desecharla como explicación objetiva de la localización. Si ese espacio es totalmente *homogéneo* en todas sus propiedades, no puede ser razón de diversidad de lugar. Si se supone una cierta diferencia cualitativa entre sus diversos puntos, de modo que su localización se base en algo objetivo, todavía queda sin explicar qué causa que un cuerpo se compenetre con una parte y no con otra del espacio absoluto: es necesario dar una razón de la diversidad de localización *de los cuerpos* aunque se admita diversidad en el espacio-recipiente. ¿Qué tienen en común el cuerpo y una parte concreta del espacio para que se dé su compenetración? No se ofrece ninguna explicación, si no es la manera imaginativa de visualizar al cuerpo en una *casilla espacial* concreta, pero sin decir por qué la ocupa con preferencia a otra. Tampoco se sugiere una razón de que una fuerza, actuando sobre un cuerpo para moverlo, le lleve a compenetrarse con otra casilla concreta.

Podemos decir que la imaginación nos seduce con una falsa explicación, superficialmente atrayente, pero sin coherencia lógica, e incapaz de dar una solución adecuada al problema de la localización, la distancia y la extensión. Una vez más nos encontramos con el peligro de pensar que las cosas son exactamente como nos las imaginamos, sin someter esas imágenes y sus implicaciones a un examen crítico.

ESPACIALIDAD FUNDADA EN LOS CUERPOS

Las teorías restantes se agrupan bajo el calificativo general de «realismo moderado», porque no niegan la correspondencia básica entre nuestro conocimiento y la realidad externa, pero tampoco esperan que ésta se acomode a nuestra imaginación. En todas ellas se admite que la *cognoscibilidad* de la localización sólo puede darse por referencias a cuerpos de posición ya conocida; el movimiento es también *cognoscible* solamente como movimiento relativo. Este es el único de que puede tratar la Física; con frase de Einstein: «La totalidad de los fenómenos físicos es de tal naturaleza que no da base para la introducción del concepto de 'movimiento absoluto'; o más brevemente, pero con menor precisión: No hay movimiento Absoluto».

Es digno de notar que el gran científico reconoce que la negación de movimiento absoluto sólo puede hacerse «con menor exactitud», ya que no puede darse el salto lógico de su incognoscibilidad física a su no-existencia. Esta debe discutirse con argumentos filosóficos independientes de una comprobación experimental que, según su metodología, tendría derecho a exigir la Física.

a) Espacialidad relacional

Si se afirma que la localización ES solamente el conjunto de relaciones a cuerpos que sirven de referencia, el rigor filosófico nos lleva a preguntar *por qué* estos cuerpos pueden cumplir esa función referencial. Obviamente, *porque su localización ya es conocida*, y se percibe su posición y distancia con respecto al que queremos localizar. Pero esto nos lleva a exigir que cada uno de los puntos de referencia esté localizado previamente, tanto en la realidad como en nuestro conocimiento. Inmediatamente caemos en un proceso sin fin, que deja sin explicar la realidad de la localización de cada uno, o cómo obtenemos el marco de referencia inicial. No hemos avanzado nada en nuestro camino hacia esa respuesta de la pregunta original: «¿en qué consiste la diversidad de lugar?».

Necesitamos también insistir en la utilización de *relaciones* de distancia, para las que necesitamos encontrar un fundamento. Toda relación se da entre dos extremos que se consideran bajo un aspecto concreto (fundamento) para afirmar o negar su similitud, basada en esa propiedad: la pared y una hoja de papel pueden tener la relación de semejanza

en cuanto a su color, aunque difieran en todo lo demás. Al preguntarnos cuál es el fundamento de las relaciones de distancia necesarias para la localización, es obvio que no podemos asignar otra base que la diversidad de lugar: ninguna propiedad detectable en los cuerpos se utiliza para determinar sus posiciones. Pero la diversidad de lugar no tiene, en esta opinión, más razón de ser que las relaciones de distancia: el círculo vicioso es patente, pues *los cuerpos distan entre sí por estar en lugares diversos, y están en diverso lugar porque distan entre sí.*

Si queremos explicar el movimiento por el cambio de relaciones de distancia a un sistema de referencia extrínseco, debemos recordar el principio filosófico universal de que *todo cambio relativo presupone un cambio absoluto* (un cambio que es real porque el mismo objeto en dos momentos sucesivos tiene alguna característica propia distinta). Si las relaciones se deben a lo que las cosas *son,* es obvio *que la relación será la misma mientras los extremos sigan siendo lo que eran.* Lo mismo es verdad en matemáticas: el valor de una relación numérica o algebraica no puede cambiar mientras no cambie *absolutamente* (es decir, en su valor propio, independiente de otras referencias) al menos uno de los términos. Por tanto es lícito y necesario preguntar *qué cambio absoluto* ocurre para que cambie la relación de distancia y podamos afirmar realmente que ha habido un movimiento. Es claro que no cambia ninguna propiedad medible o simplemente detectable del cuerpo, ni puede decirse sin más que lo que cambia es su localización, pues *de este cambio tratamos* al preguntar *en qué consiste.* Así nos vemos ante la paradoja de decir que hay cambios relativos sin que *NADA* cambie realmente. Ni siquiera sería esto aceptable en el plano de lo cognoscitivo, pues el conocer el movimiento *presupone su realidad ontológica*; con mayor razón será insuficiente para explicar el que de hecho ha habido un movimiento *real.*

Si las relaciones de distancia se hacen depender de una extensión intermedia, tal como sostiene Balmes (que la considera como dato sensorial obvio), debemos preguntarnos cómo la extensión, que *implica distancia* entre las partes del cuerpo extenso, puede ser razón explicativa de *esa misma distancia.* Una vez más se cae en un círculo vicioso: dos cuerpos o puntos distan entre sí por tener una extensión interpuesta, que es extensión por tener partes que distan entre sí. Tampoco parece lógico aceptar que la distancia-extensión entre dos cuerpos cambie si una fuerza actúa no sobre ella, sino sobre uno de los cuerpos, al que no causa tampoco cambio alguno intrínseco... No hemos explicado realmente nada de lo que propusimos como problema filosófico al comienzo de esta discusión.

Todas las teorías que, de alguna manera, refieren la localización de un cuerpo (cognoscitiva u ontológica) *solamente* a su entorno, caen en el proceso circular de exigir la previa localización del sistema de referencia. Así se forma una trama de relaciones que presuponen otras relaciones, sin que se admita nunca base absoluta para ellas, ni en su existencia ni en los cambios que constituyen el movimiento. Es una construcción filosóficamente insostenible, por mucha utilidad práctica que le asignemos en la vida vulgar o en el ámbito de las ciencias experimentales.

b) Espacialidad absoluta

La posición de Suárez y sus seguidores obvia estas dificultades afirmando el carácter *absoluto* de la localización intrínseca, aunque se confiesa abiertamente su indetectabilidad. Lo único que *conocemos* son las relaciones de distancia, pero estas se fundan en algo real, absoluto, intrínseco a los cuerpos localizados y que los modifica *en su ser accidental*. No se identifica con su esencia, extensión o cualquier otra propiedad sensible, pero es *la base de objetividad de la extensión y la localización* que hacen sensibles a los cuerpos.

El lenguaje de algunos proponentes de esta explicación es ambiguo, pudiendo dar la impresión de que esa realidad absoluta que afecta al cuerpo es un resultado de la existencia de otros cuerpos en su entorno, en cuyo caso volvería a ser necesario explicar previamente su posición, con toda la falta de lógica que conlleva ese proceso sin fin. Por otra parte, puede parecer que en algún caso se considera que la realidad intrínseca propuesta actúa como una especie de título jurídico o predisposición para que el cuerpo pueda ocupar un espacio determinado. Tampoco esto puede aceptarse, porque presupone la existencia independiente del espacio a ocupar y porque no establece conexión entre ese «título» y la presencia real en un sitio determinado.

En cambio, la afirmación sin paliativos del carácter absoluto de la localización no parece llevar a conclusiones ilógicas. Un cuerpo está en un lugar, ocupa un volumen, solamente por poseer una modificación que le afecta en su realidad *intrínseca*, aunque sólo accidentalmente. Con un lenguaje que imita el de la Física, podríamos decir que un cuerpo está en un lugar determinado por tener una «*Carga Localizante*», conceptualmente comparable con otras propiedades («cargas») no directamente detectables que se asignan a las partículas elementales (carga de «color»,

«sabor», etc.). Así como estas propiedades se postulan como razón explicativa de comportamientos nuevos de las partículas, la carga localizante se postula para explicar satisfactoriamente la realidad de la localización, la distancia, la extensión y el movimiento local.

Más concretamente: *todo aquello que existe en un lugar tiene una carga localizante determinada*. Este «tener una carga localizante concreta» es lo *único real* y objetivo que se esconde tras la frase «el cuerpo está en ese lugar concreto» Las relaciones de distancia a otros cuerpos tienen como fundamento la diversidad de sus cargas: si éstas son muy distintas, la distancia es mayor que si son semejantes. El cambio intrínseco de carga localizante constituye el movimiento local, de carácter absoluto, pero *detectable únicamente como cambio relativo*. El Universo tiene una localización de conjunto, resultado de las localizaciones de sus componentes, como tiene también una masa total como suma de las masas individuales; podría «estar en otro sitio» teniendo una carga localizante distinta, y puede moverse realmente si su carga actual cambia. La expansión que afirma de él la Astrofísica, se entiende como cambio de distancias mutuas entre las galaxias, debido a un cambio real en sus cargas localizantes, que son cada vez más distintas.

APLICACIONES Y SUGERENCIAS

La *extensión* de un cuerpo, como «*extraposición de partes*» se expresa afirmando que las diversas partes del cuerpo extenso tienen cargas localizantes distintas. No es necesario afirmar la continuidad de lo extenso, que podría estar formado de *inextensos con diversas localizaciones*: la extensión podría entenderse como una propiedad de *conjunto*, como lo es el color o la dureza, que no se da estrictamente en las partículas componentes del todo. No es correcto concebir la extensión del cuerpo como la *suma* de partes inextensas (objeción frecuente) pues la extensión no tiene otro contenido que la diversa localización de las partes del cuerpo, *sean como sean esas partes*.

No es esta posición incompatible con la veracidad de nuestros sentidos, pues éstos no nos dicen absolutamente *nada* de las partes ultramicroscópicas de que está compuesto un cuerpo sensible: nos muestran solamente la extraposición de partes del conjunto, que es *verdaderamente extenso* si cada parte está en un lugar diverso. Y no es necesario suponer una propiedad de la materia que la hace ser extensa: es sencillamente la

localización la que tiene carácter real y da, *como consecuencia*, una extensión también real.

Esta explicación abre también perspectivas filosóficamente plausibles para aceptar afirmaciones de la Física moderna que presentan a la materia como capaz de compresión indefinida (por tanto, de compenetración: varias partículas con idéntica carga localizante estarían en el mismo sitio), de multilocación (un electrón atraviesa una pantalla por una rendija, pero es afectado por la existencia de otra o varias rendijas próximas), y de cambios discontinuos de lugar (efecto túnel: la partícula puede no seguir una trayectoria verificable entre dos puntos). Si la carga localizante dejase de afectar a una realidad material, ésta dejaría de existir en el espacio *accesible a nuestra observación* (caso, tal vez, de un «agujero negro»). Dado que la carga es de carácter accidental, no parece absurdo considerar como posible una existencia «a-espacial», ciertamente no detectable directa ni indirectamente, pero cuya afirmación no sería contradictoria. En tal caso, no podría aceptarse el dicho de S. Agustín: «lo *que no está en ningún lugar, no existe*», pero sería verdad que no es accesible a comprobación experimental.

Por las razones filosóficas ya expuestas, esta explicación del carácter espacial del mundo de la materia aparece como preferible; más aún, como la única que salva la realidad de la distancia, la extensión y el movimiento sin caer en procesos sin fin o en círculos viciosos. Es verdad que nos propone la aceptación de algo no sensible en sí para explicar lo que es central en nuestras sensaciones y, en esto, va contra nuestro deseo de «imaginar» para entender. Pero tal situación es común en la ciencia moderna de la materia: no podemos imaginar a las partículas elementales con los datos de la experiencia macroscópica, ni podemos imaginar un espacio vacío con propiedades geométricas, ni sabemos realmente qué se esconde tras palabras que son meras etiquetas para un «algo» responsable de las interacciones diversas (*carga eléctrica, spin, carga de color, etc.*). Esto es tanto más aplicable a las diversas propiedades de la materia cuanto más profundizamos en su actividad y en sus componentes: no es de extrañar que ocurra cuando se trata de describir la característica más común y básica, la espacialidad.

Si bien decimos que la carga espacial no es detectable, lo son sus efectos. Tampoco es un caso especial en la Física el que así sea: a la materia la conocemos por su actividad, que casi siempre implica detectar *diferencias o cambios* en una propiedad, y no su valor absoluto. No podemos detectar una presión uniforme de la atmósfera, pero sí los cambios

de presión: por ejemplo, el sonido. Tampoco podemos ver un objeto como tal sino por los cambios de luminosidad de luces, sombras y colores. Parece, pues, aceptable el que solamente los cambios o diferencias de carga espacial tengan efectos físicos, perceptibles por nuestros sentidos directamente o por medio de nuestros instrumentos.

Es verdad que la posición filosófica más común, a partir de Aristóteles y de la tradición Escolástica, es la del *espacio relacional*, que solamente da valor objetivo a la localización con respecto a un marco de referencia externo. Sin duda alguna esto es lo que determina la *cognoscibilidad* de lugar y el movimiento, como se ha hecho notar repetidas veces. Pero el problema de la Filosofía de la Naturaleza, contrapuesto al de la Teoría del Conocimiento o al de las ciencias experimentales, no es explicar cómo son cognoscibles las realidades materiales, sino comprender *en qué consisten*, por lo menos a un nivel más profundo que el de la experiencia obvia y vulgar. *Ningún conjunto de relaciones es realmente explicativo por sí mismo*: necesitamos basar la relación en algo absoluto, aunque esto sea puramente inteligible y no imaginable o reductible a lo que nos dan las sensaciones. La objetividad no se establece por consideraciones de este orden: *no determina el conocer al ser, sino al contrario.*

ESPACIO FÍSICO

Como apéndice a lo dicho acerca del Espacio como concepto filosófico, es necesario aclarar su significado dentro de la Física actual. Mientras que Newton aceptaba un espacio real, distinto de la materia, le negaba toda interacción con los cuerpos contenidos en él. Por ser totalmente inerte, los cuerpos podían moverse con perfecta uniformidad en cualquier dirección, indefinidamente. La línea recta marcaba la trayectoria ideal, necesariamente seguida en el espacio vacío por un cuerpo abandonado a sí mismo. Dentro de ese espacio tri-dimensional tenía validez perfecta la geometría de Euclides. Y la acción de la gravedad, o aun la transmisión de la luz debía ocurrir a velocidad infinita, pues ninguna propiedad física del espacio podía condicionar su propagación.

Cuando los experimentos de Römer y Fizeau determinaron la velocidad finita de la luz y las pruebas de interferencia y difracción probaron su carácter ondulatorio, pareció necesario postular un substrato material («éter») como medio transmisor de las ondas luminosas. El famoso experimento de Michelson y Morley en 1887, probando que la velocidad de la luz era constante para todo observador y que no existía un «viento de

éter» debido al movimiento orbital de la Tierra, abrió paso a las ideas de Einstein que se desarrollaron hasta ofrecer en la Teoría General de la Relatividad de 1916 una nueva concepción del espacio físico y de la gravitación. El espacio dejó de ser un marco pasivo para la actividad de la materia, y se convirtió en parte necesaria de la trama material del mundo. Este espacio físico tiene propiedades electromagnéticas que determinan la velocidad de la luz; tiene también propiedades geométricas determinadas por su contenido de masa, y a su vez, con su geometría local determina las trayectorias de los cuerpos y de la misma luz. Incluso llega a predecirse la estructura total del Universo, finito e ilimitado, y necesariamente evolutivo, en expansión o contracción.

La necesidad de admitir una geometría influida por la masa lleva a la introducción de una *cuarta dimensión espacial* indetectable, pero que se manifiesta en sus efectos sobre órbitas planetarias o rayos de luz. También tiene el espacio vacío una cierta rigidez que limita la velocidad con que se propaga la gravitación o cualquier otra señal: nada puede acelerarse hasta sobrepasar la velocidad de la luz. Y esta misma rigidez termina robando energía a cualquier masa en movimiento acelerado, de tal modo que todas las órbitas, aun en el vacío perfecto, decaen por radiación gravitatoria y llevan a la caída de cuerpos en órbita hacia su centro de masa. Todas estas consecuencias, con predicciones numéricas, han sido verificadas experimentalmente. La Relatividad General es el paradigma explicativo utilizado hoy en toda la ciencia de la Astrofísica, especialmente la Cosmología.

La totalidad del espacio físico se describe como dotada de curvatura, de tal modo que el *espacio tri-dimensional* se comporta como una «superficie» de una *hiper-esfera* de cuatro dimensiones. De este modo puede compaginarse su volumen finito con la imposibilidad de encontrar un borde por mucho que se recorra. Ni está este volumen finito dentro de otro volumen mayor. Así como la superficie terrestre es finita pero ilimitada, y no es parte de una superficie mayor, así *el volumen tri-dimensional es finito pero ilimitado.* Su expansión implica que «se va haciendo espacio al expandirse»; lógicamente, tal expansión es posible solamente para un espacio finito, que es también finito en el tiempo: comenzó con la materia, y ES parte del mundo material.

Aunque se habla a veces de la cuarta dimensión como «tiempo», no es esto lo que implica el espacio que hemos descrito. Las ecuaciones de la Relatividad Especial, restringida a movimientos uniformes, incluyen al tiempo en una cuarta coordenada necesaria para especificar comple-

tamente un acontecimiento físico. Esta nueva coordenada, *ict*, tiene dimensiones de *espacio imaginario*: tiempo multiplicado por c (la velocidad de la luz) da una distancia, que a su vez es multiplicada por el número imaginario *i* (raíz cuadrada de -1). Pero todo esto se aplica a un espacio Euclídeo («plano»), que no tiene interacción con las masas.

En la Relatividad General, por el contrario, la gravedad se explica como una curvatura del espacio-tiempo, influido por la masa y capaz de determinar las trayectorias de otras masas en función de su curvatura. Es la presencia de masa la que determina las propiedades geométricas del espacio, mientras afecta también los ritmos físicos utilizables para medir el paso del tiempo. Un espacio que no se ajusta a la geometría Euclídea tri-dimensional es un espacio «curvo», y esta curvatura sólo puede entenderse como una deformación de las tres dimensiones espaciales detectables hacia otra, ortogonal con ellas, no detectable.

Desde el punto de vista de la Física, sería perfectamente posible mantener la realidad de sólo tres dimensiones espaciales, aceptando simultáneamente la existencia de una propiedad desconocida de la materia que influye sobre nuestras medidas imitando exactamente los efectos de una curvatura en la cuarta dimensión. No sería posible distinguir entre ambas hipótesis, pero la segunda no obligaría a esfuerzos imaginativos que son siempre inútiles para representarnos ese espacio «arrugado» en la cuarta dimensión. La coherencia matemática de las fórmulas favorece, sin embargo, el tratar la geometría del espacio de una forma unificada, y esto es lo que hace la Física actual. Véase el *Apéndice I* para más detalles.

Relacionando el espacio físico con el tema filosófico que tratamos, es claro que las hipótesis científicas no intentan responder al problema de la localización, distancia y extensión. Ese mismo espacio relativista implica diversidad de lugar y distancia, que necesita explicarse filosóficamente: no importa que sea una realidad física indetectable a nuestros sentidos.

Tendremos oportunidad de volver a tratar de este espacio físico vacío, incorrectamente identificado a veces con la *NADA*, al discutir temas relacionados con la transmisión de fuerzas, continuidad de la materia y el origen del Universo. También tiene implicaciones la idea de curvatura espacial en agujeros negros para la posibilidad de movimientos discontinuos. Lejos de ser nada, este espacio vacío resulta ser el fondo más básico de la realidad material, sede de continua actividad y posible *constitutivo último de la materia.*

IV
MOVIMIENTO

El concepto general de *cambio*, unido al de actividad, es básico para dar razón de nuestro conocimiento del mundo. Percibimos que nuestro entorno es cambiante, y nos damos cuenta de que la sensación es un cambio en algún estado de nuestros órganos; científicamente, la experimentación que nos permite conocer a la materia se basa en interacciones que de forma más o menos directa afectan a nuestros instrumentos y producen cambios en algún indicador.

En el lenguaje filosófico más tradicional todo cambio se describe también como «*movimiento*»en un sentido analógico. Pero se considera movimiento estrictamente dicho el «*cambio local*», fácil de percibir y de comprender intuitivamente, aunque esconde una profundidad que ya causó problemas desde los albores de la Filosofía. Nos aparece como el nexo de unión entre los conceptos de espacio y tiempo, tan básicos para describir el mundo de nuestra experiencia. De éste movimiento trata el tema que ahora abordamos.

Para no prejuzgar algunas cuestiones acerca de la naturaleza del movimiento, nos limitamos a afirmar que *cualquier cambio de lugar*, de cualquier manera que ocurra, es un movimiento. Utilizando los conceptos del tema anterior, podremos distinguir entre movimiento relativo, único detectable y de efectos físicos medibles, y movimiento absoluto. Todo movimiento relativo implica un cambio absoluto de lugar; todo cambio absoluto será detectable como cambio relativo con respecto a un entorno que no cambia simultáneamente de la misma manera. Con un ejemplo práctico: dos automóviles rodando a la misma velocidad en pistas paralelas no muestran movimiento relativo entre sí, aunque tienen movimientos absolutos iguales y también relativos con respecto al terreno.

FÍSICA DEL MOVIMIENTO

Físicamente, el movimiento se describe por el cambio espacial que ocurre durante un intervalo temporal. Esta relación *espacio/tiempo* se denomina «velocidad media» para cualquier intervalo medible de tiempo.

Velocidad, en Física, es una cantidad *vectorial*, especificada por su magnitud y su dirección. Si ambas se mantienen constantes durante el intervalo de tiempo considerado, tenemos un movimiento *uniforme*. Si hay un cambio cualquiera, ya sea en la rapidez del movimiento o en su dirección (sentido), tenemos un movimiento *acelerado*. La aceleración se define, de modo paralelo a la velocidad, como un cambio en la velocidad durante un intervalo de tiempo.

Mientras que el movimiento uniforme es indistinguible del reposo por experimento físico alguno (que se limita siempre a cambios relativos), el movimiento acelerado tiene efectos físicos de carácter absoluto: da lugar a que aparezcan *fuerzas inerciales* (como cuando el arranque repentino de un tren causa la caída de bultos, o un pasajero se siente empujado hacia un lado cuando un automóvil toma rápidamente una curva).

Tanto la velocidad como la aceleración pueden considerarse durante intervalos de tiempo cada vez más cortos, tendiendo a un límite de tiempo cero. Así se formula el concepto límite de velocidad o aceleración «*instantánea*». No es posible tomar literalmente que el tiempo sea cero, sin caer en absurdos matemáticos: el cociente de no-cero sobre cero es infinito, y el de cero sobre cero es indeterminado. Pero se puede acercar a cero tanto cuanto se quiera, llegando así a las formulaciones del cálculo diferencial que permiten obtener respuestas dentro del formalismo matemático basado en el concepto de *infinitesimales*, tanto de espacio como de tiempo, en un *paso al límite* en que una variable tiende continuamente al valor cero.

Las leyes físicas del movimiento son las formuladas por Newton:

1) Todo cuerpo, dejado a sí mismo, continúa indefinidamente en el estado de *reposo o movimiento uniforme* en que se encuentra.
2) Una fuerza actuando sobre un cuerpo causa una aceleración, proporcional a la fuerza y en su misma dirección y sentido. Tanto aceleración como fuerza son cantidades vectoriales; la relación del cociente *fuerza/aceleración* es la *MASA* del cuerpo.
3) A toda fuerza que actúa sobre un cuerpo corresponde otra fuerza de igual magnitud, y dirección (sentido) opuesta, actuando sobre otro cuerpo: *a toda acción corresponde una reacción*.

Como consecuencia de la primera y tercera ley, se establece la conservación del momento lineal en un sistema aislado. La segunda ley permite resolver objeciones para el caso de movimientos de rotación, como veremos más adelante.

Galileo y Newton afirmaron la *equivalencia física* de reposo y movimiento uniforme: todos los experimentos de la mecánica pueden hacerse por igual en un laboratorio en tierra firme o en un buque que se mueve a velocidad constante en un mar en calma. El efecto de una fuerza no es *producir* el movimiento, sino *cambiar* el estado del cuerpo; este cambio es una *aceleración*, como indica la segunda ley de Newton.

Afirmando que los cuerpos son *indiferentes* al reposo o al movimiento uniforme (primera ley), Newton recoge y amplía los resultados de experimentos de Galileo, apartándose de la concepción Aristotélica del reposo como único estado *natural* de un cuerpo.

La velocidad que siempre especifica a cualquier movimiento es medible solamente con respecto a algún punto de referencia, más o menos arbitrario. Si cambia el punto de referencia o éste se mueve a su vez, la velocidad *como relación* cambia también. Incluso podemos considerar tantas velocidades como puntos de referencia, afirmando también el reposo con respecto al observador que va unido al móvil, o con respecto a otro móvil con idéntica velocidad. Solamente en el caso de la luz (todas las ondas electromagnéticas) nos exige la Teoría de la Relatividad el aceptar que todo observador, sea cual sea su estado de reposo o movimiento uniforme, obtendrá siempre el mismo valor de velocidad *en el vacío*, $\mathbf{c} = 300.000$ km/s. Es así la velocidad de la luz un absoluto que parece incluso negar el concepto de velocidad «*con respecto a algo*»: si todos los puntos de referencia son equivalentes, será porque no entran en la relación.

DESARROLLO HISTÓRICO

La concepción de la materia de Aristóteles se desarrollaba alrededor de las idea de «lugar natural», que asignaba a cada tipo de materia o «*esencia*» una posición propia en la estructura del Universo. Los cuerpos terrestres se dividían en *graves* (pesados) y *leves*. Aquellos debían ocupar los lugares inferiores, mientras los leves estaban hechos para los superiores. Todo cuerpo tendía a su propio lugar, donde permanecía en reposo mientras no se le forzase a moverse. Por eso se clasificaban los movi-

mientos como *naturales* o *forzados*: aquellos eran el resultado automático de la tendencia al propio lugar (caída de los cuerpos graves hacia el centro de la Tierra y ascensión de vapores y fuego) mientras los movimientos forzados ocurrían solamente por aplicación de fuerzas externas al cuerpo. Si la fuerza cesaba, el cuerpo debía dejar de moverse, pues el estado propio de la materia terrestre era siempre el *reposo*. Solamente la materia de los cielos («*quinta esencia*» distinta de los cuatro elementos terrenos) tenía, por naturaleza, un eterno movimiento circular con giro uniforme.

Parte importante de la idea clásica de movimiento es la afirmación de su *continuidad*: es una *realización de una potencialidad que sigue existiendo como potencia mientras se convierte en acto.* Cualquier interrupción (reposo) termina a un movimiento concreto, aunque pueda darse otro distinto a continuación. Esta misma idea de continuidad se aplica a espacio, tiempo y materia, llevando en todos estos casos a la afirmación de *divisibilidad indefinida*, al menos conceptual (sería perfectamente aceptable admitir la imposibilidad real de una división ilimitada).

Inercia

La concepción Aristotélica tropezaba con grandes dificultades en el hecho obvio de experiencia que nos muestra movimientos que continúan cuando ha cesado la fuerza: una flecha despedida del arco continúa en vuelo; un vehículo sigue adelante cuando se le da un empujón, incluso cuesta arriba. Para explicar esto, los escolásticos medievales introdujeron el concepto de «*ímpetu*»: una propiedad comunicada al cuerpo por la acción de la fuerza, que produce la continuación del movimiento hasta que se desgasta. De esta manera se podría aceptar la *inercia* de un móvil: los cuerpos no solamente parecen exigir una fuerza para pasar del reposo al movimiento, sino también para volver bruscamente del movimiento al reposo, o para alterar la velocidad (rapidez y dirección) del movimiento que ya poseen.

Considerando el «ímpetu» como el efecto de una fuerza sobre un cuerpo, podemos darle dos interpretaciones: o bien calculamos el efecto integral de la fuerza durante el tiempo en que actúa, acelerando al cuerpo, o bien nos fijamos en el trabajo realizado por la fuerza actuando a lo largo de un camino recorrido en su dirección. En el primer caso obtenemos el «*momento*» lineal (cantidad de movimiento), producto de masa

y velocidad (mv); en el segundo, la *energía cinética* ($\frac{1}{2}mv^2$). Ambas magnitudes describen el efecto de la fuerza, y ambas se conservan en la ausencia de roces o choques inelásticos. El momento («cantidad de movimiento») se relaciona directamente con el «*impulso*», mientras que la energía cinética es equivalente al trabajo realizado, y se expresa en las mismas unidades que el trabajo o cualquier otra forma de energía, pudiendo también transformarse en energía calorífica o eléctrica, por ejemplo.

De esta dualidad nació una larga disputa que implicó a filósofos y físicos, sobre cuál de los conceptos tenía prioridad y sobre si el «ímpetu» era proporcional a la velocidad o a su cuadrado. Dado que los filósofos nunca definieron claramente al ímpetu en términos físicos, la respuesta es arbitraria. Pero fijándonos en el conjunto de interacciones de los cuerpos, en que frecuentemente encontramos choques inelásticos, parece que el momento tiene prioridad porque se conserva siempre y, como magnitud vectorial, tiene una dirección de la que carece la energía. Por eso parece reflejar más directamente el influjo de la fuerza. Y se puede decir que el efecto específico de una fuerza es «*cambiar el momento del cuerpo sobre el que actúa*».

MOVIMIENTOS DE ROTACIÓN

Esta consideración del carácter vectorial de la aceleración y del momento es útil también para resolver un problema que surge de la inercia de movimientos de rotación. Cada una de las partículas de un cuerpo que gira está moviéndose en una trayectoria curva, por lo cual su movimiento es *acelerado*. Sin embargo, si el *ritmo de giro* no se ve influido por nuevas fuerzas, ese movimiento acelerado continúa indefinidamente, a pesar de lo dicho anteriormente en el sentido de que la aceleración cesa cuando desaparece la fuerza que la causa. La solución es posible si consideramos la suma algebraica de aceleraciones de partículas simétricamente dispuestas en relación al eje de giro: sus aceleraciones se cancelan, y la aceleración *total* del cuerpo es cero. tanto si hablamos de la aceleración lineal como de la angular, hasta que actúe una fuerza.

El «*momento angular*», que apunta en la dirección del eje, es distinto de cero, y se conserva para un móvil aislado. Así se explica satisfactoriamente el que un planeta, como la Tierra, mantenga su velocidad de rotación indefinidamente. Se da también una inercia en este caso, que es la tendencia del cuerpo que gira a mantener inmutable su estado, defi-

nido por su *momento lineal y angular*: es necesario gastar energía tanto para modificar la rapidez del giro (velocidad angular) como para cambiar la dirección en que apunta el eje. Y la fuerza inercial que corresponde a la aceleración de un movimiento circular se manifiesta en la deformación del cuerpo (ensanchamiento ecuatorial de la Tierra).

El principio de inercia, tal como lo expresa la primera ley de Newton, es una idealización, en cuanto no hay cuerpos aislados del resto del Universo y «abandonados a sí mismos». Incluso en la ausencia de otros cuerpos, un único planeta girando alrededor del Sol pierde energía por radiación gravitatoria, y su órbita decae. Solamente se verificaría la ley con toda exactitud si existiese un sólo cuerpo en movimiento uniforme (que sería movimiento absoluto y no podría ser objeto de la Física).

Los autores (físicos o filósofos) que aceptan que todo movimiento se explica solamente como cambio *relativo* encuentran un problema importante al tratar de justificar el que aparezcan fuerzas inerciales como resultado de aceleraciones, sobre todo en el caso de un movimiento de rotación uniforme: un planeta pierde la forma esférica como consecuencia de su giro; el agua en un cubo forma una superficie de perfil parabólico. Si cualquier movimiento tiene que ser «*con respecto a algo*» para ser real, ¿cuál es el punto de referencia del giro de un planeta, y cómo actúa para causar una deformación? Newton tomaba estos hechos como prueba de la existencia del espacio absoluto, con respecto al cual era real todo movimiento. Mach propuso que el sistema de grandes masas del Universo (galaxias lejanas) era el marco físico con respecto al cual se da la rotación, sugiriendo algún tipo de reacción de esas masas sobre el móvil, de tal modo que los mismos efectos podrían deberse al giro del cuerpo deformado o al giro del Universo a su alrededor.

Como es obvio, esta hipótesis no puede comprobarse experimentalmente, ni parece lógico que el aplicar una fuerza de torsión a la cuerda de la que se suspende un cubo de agua cause una reacción proveniente de galaxias a millones de años-luz. Todavía es posible postular un «*campo inercial*» debido a todas las masas del Universo, que se habría producido por su existencia y distribución a lo largo de la historia cósmica, y que causaría la reacción local sobre el cuerpo que gira. En esta hipótesis, la inercia (masa inerte) sería una propiedad cambiante de cada cuerpo, debida a su entorno total en un momento dado. A pesar de su atractivo desde el punto de vista que reconoce efectos físicos mutuos solamente a los movimientos relativos, no ha sido posible incorporar ese «*Principio de Mach*» dentro del marco de la Relatividad.

MOVILIDAD UNIVERSAL

La aplicación de las ideas básicas de la Física moderna (Relatividad, Mecánica Cuántica, Termodinámica) lleva a una concepción de la materia como inherentemente móvil. Mientras que Aristóteles consideraba que el reposo era el único estado *natural* de los cuerpos, y que Newton afirma su *indiferencia* hacia el reposo o el movimiento uniforme, hoy parece necesario afirmar que el reposo absoluto *no puede darse*. Todo cambio de orden temporal va acompañado, según la Relatividad, por un cambio espacial (movimiento): es el reverso de la afirmación obvia de que todo cambio espacial ocurre con un cambio temporal.

En la Mecánica Cuántica, el *Principio de Indeterminación* nos exige renunciar a una medida exacta de la posición de una partícula: si la incertidumbre de posición es cero, la incertidumbre del momento tiene que ser infinita, y se puede afirmar cualquier velocidad de esa partícula que se supone en reposo ($Äx.Äp=h/2ð$, en que h es la «constante de Planck»). Finalmente, la Termodinámica interpreta esta imposibilidad de reposo como imposibilidad de alcanzar el «cero absoluto» de temperatura, ni siquiera en el vacío físico: hay siempre una energía mínima debida a fluctuaciones cuánticas, aun de partículas «virtuales», indetectables, pero que producen efectos físicos calculables en las partículas reales.

CONSIDERACIONES FILOSÓFICAS

Al hablar del espacio, quedó claro que el cambio de lugar solamente es detectable con relación a algún sistema de referencia, pero que su realidad es de carácter absoluto. El móvil se mueve realmente cuando cambia su carga localizante, que le afecta intrínsecamente en su ser accidental.

El *ritmo de cambio de carga localizante* es la velocidad *absoluta* del móvil, independientemente de toda referencia. Si este ritmo es constante, tenemos un movimiento uniforme; si el ritmo varía (en cualquiera de sus componentes en varias direcciones), tenemos una aceleración. El papel de una fuerza es el *imprimir un nuevo ritmo de cambio* de carga localizante, sea cual fuere el ritmo original.

Solamente las *diferencias de ritmo de cambio* tienen efectos físicos, ya se trate de diferencias *simultáneas* en el caso de más de un móvil (velocidad relativa), o de diferencias *sucesivas* (fuerzas inerciales en el móvil que

acelera). No es necesario invocar ninguna reacción de algo externo al móvil para que se justifique la aparición de estas fuerzas inerciales, que son observables en el móvil, aun aislado. Los efectos mutuos —fuera del móvil— siguen dependiendo de una *diferencia* simultánea en ritmos de cambio o en su variación: dos móviles que se mueven paralelamente con idéntica velocidad se comportan como si estuviesen en reposo relativo aunque ambos sufran idénticas aceleraciones.

Por ser la carga localizante una realidad que *no tiene efectos físicos* por sí misma, el móvil es indiferente a cualquier carga y a cualquier ritmo constante de variación en ella. Así se expresa el hecho experimental de la inercia. Cuando una fuerza ha causado un nuevo ritmo de cambio (distinta velocidad y momento), se mantiene este ritmo con la misma indiferencia, sin gasto de energía ni efectos físicos detectables (al menos con la presente tecnología, aunque es pensable que llegue el momento en que pueda verificarse experimentalmente una variación mínima en alguna propiedad energética del cuerpo)

Tal vez sea posible encontrar una razón última de la movilidad universal de la materia en su naturaleza *mudable y compuesta.* No siendo una esencia necesaria ni ontológicamente simple, el cuerpo es intrínsecamente cambiante, no sólo en su estructura y actividad física, sino en los aspectos más profundos de temporalidad y espacialidad. Con la frase de los filósofos pre-socráticos, «*Panta rei*» (todo fluye: Heráclito); en lenguaje más moderno, el «*devenir*» es propio de la materia, y la fijeza espacio-temporal es algo naturalmente ajeno a ella.

Así nos apartamos de Aristóteles al no preguntar por causas físicas de que un cuerpo se mueva, sino de que su movimiento *se altere.* En forma consecuente con nuestra posición acerca de la carga localizante, lo que altera el movimiento es una fuerza actuando sobre el cuerpo, haya o no un sistema de referencia, pues el efecto de la fuerza *debe darse donde ésta actúa.*

¿CONTINUIDAD?

¿Es el movimiento necesariamente continuo? La descripción física del «*efecto túnel*» en el mundo microscópico se hace aceptando que una partícula va de un lugar a otro *sin pasar por el medio*, con un movimiento discontinuo. Experimentalmente esto da lugar a fenómenos extraños, pero indudables: incluso la luz emitida simultáneamente en dos haces

muestra que llega antes al mismo punto el haz que tuvo que franquear una barrera por efecto túnel (porque recorrió un espacio más corto). Parece necesario admitir un cambio discontinuo de localización para los fotones, igual que para los electrones en un dispositivo que se basa en este efecto: el diodo de túnel.

La respuesta acerca de la discontinuidad esencial del cambio de lugar dependerá de la naturaleza continua o discreta del espacio y del tiempo, ya que el movimiento implica a ambos. Toda continuidad, con su consecuencia de divisibilidad indefinida, presenta dificultades lógicas muy serias si se intenta aplicarla a la realidad. Ni es lícito dar el paso de un proceso mental que no tiene un término lógico (multiplicar por ½ u otra fracción) a una divisibilidad real, aunque ésta no sea realizable experimentalmente. En concreto, la divisibilidad espacial presupone una multiplicidad de cargas localizantes en algo extenso, de modo que la divisibilidad indefinida parece exigir la existencia *real* de un número infinito de tales cargas, o la posibilidad de infinitos «valores» distintos entre cualesquiera dos cargas localizantes iniciales. Ambas suposiciones son difíciles de aceptar: no hay infinitos reales en nada material (como contrapuestos a «infinitos» de orden lógico-matemático, que son realmente *límites de procesos sin término natural*).

Toda la Física moderna nos inclina a aceptar la *discontinuidad* básica de la materia: partículas, intercambios energéticos, procesos cuánticos. Es verdad que la Teoría de la Relatividad está formulada en términos de cambios continuos en el espacio-tiempo, pero los investigadores no cejan en su empeño de conseguir una «gravedad cuántica» que haga esa formulación compatible con el resto de las interacciones o fuerzas conocidas. Sin que podamos decir todavía que estos conceptos son parte demostrada ni aceptada universalmente de la ciencia actual, se *sugiere* una «distancia de Planck» mínima ($\sim 10^{-33} cm$) y un «tiempo de Planck» correspondiente ($\sim 10^{-44} seg$) cuyo cociente es la velocidad de la luz en el vacío, única velocidad absoluta aceptada por la Relatividad. Estos valores mínimos de espacio y tiempo son el resultado de combinar constantes físicas, como la constante de Planck, la de gravitación y la velocidad de la luz. A estos valores mínimos se les da significado físico, afirmando que ningún proceso material puede llevar consigo un cambio local de menor intervalo, ni ocurrir en un tiempo más corto, aunque parece quedar siempre, *filosóficamente*, la posibilidad de considerar una distancia o un tiempo menor.

APORÍAS DE ZENÓN

Es instructivo el aplicar cuanto se ha dicho sobre el movimiento a resolver las clásicas objeciones o «*APORIAS*» de Zenón de Elea. Como la palabra griega indica, se trata de procesos lógicos sin salida, que contradicen la noción misma de movimiento por mostrar, según Zenón, que el movimiento es absurdo. Son cuatro las aporías, cuyos nombres indican la situación imaginaria propuesta por Zenón: «Estadio», «Dicotomía», «Aquiles» y «Saeta».

ESTADIO: Un corredor tendrá simultáneamente diversas velocidades con respecto a diversos puntos de referencia que, a su vez, están en movimiento o en reposo a su alrededor (otros corredores, espectadores). Si se considera que todo movimiento está especificado sin ambigüedad por una velocidad *única*, tal movimiento con varias velocidades simultáneas es absurdo.

La solución es obvia si distinguimos la velocidad medible y la absoluta, no detectable directamente. La única posibilidad de determinar una velocidad observable la proporciona un punto de referencia con el que se establece una *relación* del lugar ocupado por el móvil en cada momento. Naturalmente, *al cambiar un extremo de la relación, ésta cambia*, y hay tantas relaciones como puntos de referencia. Pero si consideramos el movimiento como cambio intrínseco, la velocidad *real* del móvil es el ritmo de cambio de sus cargas localizantes, y este ritmo especifica el movimiento sin referencia externa. No hay diversas velocidades «*absolutas*», y la aporía carece de fuerza.

DICOTOMÍA: Para recorrer cualquier distancia A-B es preciso recorrer primero su mitad, luego la mitad de lo que queda, etc. Por tanto hay que recorrer un número infinito de espacios decrecientes, pero todos de algún valor superior a cero. Ya que se necesita siempre algún tiempo para recorrer cualquier distancia, por pequeña que sea, tenemos una suma de infinitos tiempos, lo cual lleva a un tiempo infinito. Aplicando esto al primer intervalo arbitrario, tendríamos que decir que el móvil ni siquiera puede ponerse en marcha.

En esta objeción se cae en la trampa lógica de aceptar que una suma de *infinitos sumandos* de espacio da un espacio *finito*, mientras se afirma que una *suma correspondiente* de infinitos sumandos de tiempo da un tiempo *infinit*o. Tal situación sólo puede inferirse en el supuesto de una velocidad *constantemente decreciente en proporción al espacio recorrido*: de esta forma cada fracción de espacio sigue exigiendo el mismo tiempo que

la anterior. Pero si la velocidad es constante, a menos espacio corresponde menos tiempo, y las dos sumas son matemáticamente idénticas, llevando en ambos casos a resultados finitos:

$$\lim \sum(1/2)^n = 1$$

Es digno de notar también, en este contexto, que no es lícito afirmar automáticamente una correspondencia exacta entre las matemáticas y la realidad. Una suma infinita nunca puede realizarse, pues nunca se tienen *todos* los sumandos, aunque intuitivamente se vea a qué límite tiende. Incluso hay series infinitas que no tienen un límite inequívoco, sino que llevan a valores diversos según se agrupen sus términos arbitrariamente. Recordemos siempre que los conceptos matemáticos son abstracciones de existencia *sólo mental* : relaciones de carácter cuantitativo que pueden intuirse como válidas en una extrapolación en que el concepto mismo de número deja de ser aplicable unívocamente.

Si aceptamos la discontinuidad del espacio y del tiempo, la aporía inmediatamente queda resuelta: no hay un número infinito de sumandos ni de distancia ni de duración.

AQUILES: El gran corredor homérico no puede nunca alcanzar a una torpe tortuga si le concede una ventaja inicial en su carrera. Cuando Aquiles llegue a donde la tortuga estaba, ésta ya se encuentra un poco más adelante, y así sucesivamente, de modo que nunca coinciden los dos en el mismo punto. También aquí se considera al espacio como infinitamente divisible, y puede intuirse que Zenón presupone una velocidad *decreciente* de Aquiles o una *parada* en cada punto ya ocupado por la tortuga. Pero si en lugar de fijarnos en donde la tortuga ha estado, calculamos *dónde va a estar* después de un tiempo t, la solución es sencilla: en ese tiempo la tortuga recorrerá un espacio $d = v.t$, y si la ventaja inicial era x , basta que Aquiles se mueva con velocidad constante $(d+x)/t$ para que la encuentre en esa posición. Es obvio que dos móviles recorrerán dos espacios distintos en el mismo tiempo si tienen movimientos uniformes con distinta velocidad.

Si consideramos al espacio como discontinuo, también negamos la suposición de que tanto Aquiles como la tortuga pueden avanzar por incrementos arbitrariamente próximos a cero. En tal caso, necesariamente tienen que coincidir en algún espacio mínimo.

SAETA: Una saeta despedida del arco y en ruta hacia el blanco o bien *se mueve donde está* o *donde no está*. Lo primero es contradictorio, pues

estar en un sitio implica fijeza, que niega el movimiento ya supuesto. Lo segundo es absurdo, pues el móvil no puede hacer nada donde no se encuentra presente. Por tanto, la saeta no se mueve.

Esta es la objeción de mayor dificultad filosófica, pues ataca al mismo concepto de movimiento como un *proceso*, no una serie de actos. Para aclarar su formulación y para resolverla, es necesario considerar por separado al movimiento como cambio continuo y como resultado de posibles pasos discretos.

Comenzaremos por hacer notar una trampa semántica. Preguntar dónde está el móvil mientras se mueve es, en términos filosóficos, preguntar *cuál es su carga localizante mientras está cambiando de carga localizante*. Naturalmente no hay una respuesta que no lleve a contradicción verbal: sería como preguntar qué color tiene una cosa mientras está cambiando de color. Solamente puede afirmarse que en un «instante» dado el color o la carga localizante son tales. Pero esto exige explicar qué es un instante, concepto que ya mencionamos al hablar de la velocidad «instantánea» de un móvil.

En Física se afirma que es aplicable a la velocidad el proceso matemático de «paso al límite», por el cual el intervalo de tiempo tiende a cero en el cociente *ds/dt*. Ese tiempo arbitrariamente próximo a cero es el «*instante*», pero su duración queda sin especificar. Si se afirma que es realmente cero, no es medible, ni tiene sentido afirmar posición alguna del cuerpo en ese instante: *lo que no está en un sitio un tiempo distinto de cero, no está en ese sitio*. Pero si acepto una duración para *dt*, por pequeña que sea, puedo distinguir diversos momentos en ese intervalo, y he negado el concepto de velocidad instantánea.

Por tanto, en el supuesto de la continuidad del movimiento, hay que decir que el móvil no «*está*» nunca en ningún sitio, pues no está en ningún espacio determinado un tiempo distinto de cero. Precisamente, al afirmar el movimiento, *se excluye toda permanencia estática*. Y, aunque parezca absurdo a primera vista, el móvil se mueve donde no está, porque nunca está en ningún punto un tiempo mayor que cero. Lo mismo sería aplicable a un cambio *continuo* de color, de temperatura o de cualquier otra propiedad de un cuerpo.

Confirma la negación de velocidad verdaderamente instantánea el considerar, según la mecánica cuántica, que tampoco el tiempo puede determinarse con absoluta precisión, ni puede reducirse su duración arbitrariamente, sin introducir una imprecisión en la energía cinética del móvil. Como ésta es función de la velocidad, se pierde la posibilidad de deter-

minarla, que era el propósito de reducir el intervalo de tiempo. No es factible, ni aun teóricamente, llegar a un tiempo arbitrariamente cercano a cero sin perder, como consecuencia, la posibilidad de afirmar una posición o velocidad del móvil.

Aceptando la hipótesis de movimiento discontinuo, el intervalo mínimo de tiempo es el momento *real*, ni cero ni divisible en otros menores, con afirmaciones equivalentes para el mínimo intervalo espacial. Un móvil tiene una localización determinada durante un tiempo de Planck (o el tiempo mínimo real), y tiene una localización diversa en el intervalo temporal siguiente. Por tanto, se ha movido; no en un tiempo intermedio, *que no existe*, ni en un lugar intermedio, sino «sin tiempo» (recordemos el efecto túnel). El concepto de velocidad instantánea deja de ser aplicable estrictamente (aunque hay que hacer notar que los valores de esos mínimos de tiempo y espacio son trillones de veces menos que los límites reales de nuestras medidas físicas).

En esta solución se niega la legitimidad de la aporía tal como se formula: no hay esos «dóndes» de espacio o tiempo en que uno quiere parar al móvil para observarlo mientras se sigue afirmando que se mueve. Tenemos que renunciar a nuestra imaginación, que siempre pone dificultades al raciocinio filosófico.

A pesar de su antigüedad, las aporías de Zenón siguen siendo terreno fértil para libros filosóficos, precisamente por la dificultad de compaginar filosofía, matemáticas, física, imaginación y lenguaje abstracto.

Resumiendo, conviene recordar —para discusión posterior al tratar de la estructura de la materia— que el problema de la continuidad del movimiento se basa en la dificultad del mismo concepto de *cambio continuo*, y en la imposibilidad imaginativa de admitir mínimos indivisibles en cualquier orden (hablando siempre, naturalmente, de divisibilidad *teórica*, no experimental). Tanto las cantidades de orden extensivo como las meramente intensivas parecen exigir la posibilidad de cambios infinitesimales, tan pequeños como uno quiera: distancias, volúmenes y superficies, valores de temperatura, densidad, energía cinética. Todo esto nos parece susceptible de cambio en cualquier escala, porque cualquier expresión numérica que se aplique a uno de estos parámetros siempre puede combinarse, mentalmente, con un concepto de fracción: la mitad de lo que se afirmó originalmente, o cualquier otro valor menor que la unidad. Esta composición mental es siempre posible en el orden teórico.

Pero en el orden real la Física nos hace ver continuamente mínimos de carga eléctrica, valores indivisibles de masa en partículas conocidas,

intercambios cuantificados de energía. La longitud espacial de Planck y el tiempo mínimo asociado a ella son extensiones lógicas del mismo proceso de interpretación de la realidad en términos discontinuos, aunque puede considerarse su magnitud como arbitraria, obtenida por una combinación de constantes físicas que producen la dimensionalidad correcta. Pero el concepto mismo de discontinuidad no depende de su valor, y parece imponerse en todos los aspectos de la realidad física Tendremos que recordar esto varias veces más al tratar del tiempo y de la materia y su actividad, al menos como una posibilidad digna de tenerse en cuenta filosóficamente aunque no tenga comprobación experimental.

EL MOVIMIENTO EN LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

La dificultad experimental de distinguir entre el estado de reposo y el de movimiento uniforme fue formulada por Galileo en términos de lo que era la Física de su tiempo: ambos estados son totalmente equivalentes desde el punto de vista de la Mecánica (*Principio de la Relatividad de Galileo*). Quedaba, sin embargo, la posibilidad de que las ondas de la luz, a través de un «*éter*» universal, mostrasen un cambio de velocidad en alguna dirección, indicando así el movimiento «absoluto» de la Tierra como resultado de su órbita alrededor del Sol.

Los experimentos de Michelson y Morley (Cleveland, 1887) destruyeron esta esperanza: la velocidad medida para la luz era la misma en cualquier dirección, ya se moviese la Tierra en la dirección de la fuente luminosa o alejándose de ella. Este hecho experimental, aunque históricamente no parece haber sido la base de la Teoría Especial de la Relatividad de Einstein (1905), quedó explicado por ella e incorporado en sus bases como el postulado fundamental: es imposible distinguir el estado de reposo del de movimiento uniforme por ninguna observación de carácter físico. La velocidad de la luz (toda onda electromagnética) en el vacío es constante para cualquier observador en movimiento uniforme, y es la velocidad límite: nunca puede darse una medida experimental que indique un valor superior al de 300.000 km/s (**c**). Ni puede nada ser acelerado hasta alcanzar tal velocidad, porque cuanto más se acerque a ella un móvil, más difícil será aumentar su velocidad. Como la resistencia a la aceleración *define* el concepto de masa, es preciso decir que ésta aumenta con la velocidad, y sería infinita para $v = \boldsymbol{c}$, exigiendo

consecuentemente una fuerza infinita para alcanzar **c** por poca que fuese la masa original.

Experimentalmente se ha comprobado que electrones acelerados a cerca de **c** tienen masa inerte hasta mil veces mayor que en reposo. La energía externa que se utiliza para aumentar su energía cinética aparece más y más como masa, y cada vez en menor proporción como velocidad. Así se verifica también la equivalencia relativista $E=m.c^2$.

Si la velocidad de la luz es una constante absoluta para todo observador con cualquier tipo de movimiento uniforme, las *medidas de espacio y tiempo* deben depender del estado de reposo o movimiento con respecto a reglas o relojes que se observan, ya que la trayectoria del rayo depende del punto de observación. Esto lleva a consecuencias como la «*contracción de las longitudes*» en la dirección del movimiento y la «*dilatación del tiempo*» si se observa un reloj en movimiento: sus ritmos aparecen más lentos que los del reloj en reposo para el observador. Todos estos efectos son *perfectamente recíprocos*, sin implicar modificación real en el móvil, ya que es arbitrario decir cuál es el móvil; ni pueden compararse medidas directamente, pues sería necesario parar el movimiento relativo, *introduciendo aceleraciones* no permitidas por la Relatividad Especial o Restringida. En cambio se predice en la Relatividad Generalizada (1916) que tales efectos ocurren *únicamente* en el móvil acelerado de un modo verificable *no-simétrico*.

Para mantener la afirmación de que nunca se mide una velocidad superior a **c**, es necesario cambiar las reglas de la adición de velocidades: dos cohetes que se cruzan, cada uno con velocidad (u,v) igual a 0,9 **c**, no pueden dar lugar a velocidad relativa superior a **c** para un observador en uno de ellos. El valor observable viene dado por la fórmula:

$$v_{total} = (u + v)/(1 + u.v./c^2)$$

que lleva en el ejemplo dado a calcular una velocidad relativa de 0,99 **c**.

En la Relatividad Generalizada, que se utiliza en situaciones en que hay aceleración, sea cual sea su causa, los efectos no son simétricos. Sólo en el sistema acelerado aparecen fuerzas inerciales, y en él se dan efectos de dilatación del tiempo que se discuten en el capítulo siguiente.

V
EL TIEMPO

La percepción del mundo extramental, por su interacción con nuestros sentidos, nos presenta una variedad de orden espacial, básicamente *estática*, que hemos descrito como «diversidad de lugar», de la que dependen los conceptos de distancia y extensión. Una variedad *dinámica* es también aspecto siempre presente de nuestras percepciones: las cosas cambian y son percibidas como cambiantes. Y nuestra consciencia está también en flujo constante: aun cuando percibimos un objeto como constante en su ser, tal permanencia se deduce de que actos *sucesivos* de percepción consciente lo muestran con las mismas características. Este cambio no-espacial es la base de la experiencia temporal, común a todo nuestro conocer y de mayor ámbito que el espacio, ya que actos de entender o querer, no dotados de carácter espacial, sí nos aparecen como ocurriendo «*en el tiempo*».

El movimiento (cambio local) implica espacio y tiempo, de tal modo que su relación es la velocidad. Si a un movimiento determinado se le *supone* de ritmo constante (sea o no rectilíneo), un cambio espacial puede servir como *indicación* de un cambio temporal, y así tenemos un «*reloj*» en sentido amplio. Pero también sirve de reloj un cambio cualquiera, cualitativo o cuantitativo, sin que intervenga una distancia: el cambio de una fruta al madurar, el desgaste de una vela encendida, las arrugas de la vejez, son «*relojes*» que indican el paso del tiempo. Tampoco hay movimiento espacial estrictamente dicho en los relojes digitales modernos.

El concepto de cambio en su sentido general es básico para hablar del paso del tiempo. Pero si es posible afirmar que todo cambio *requiere* tiempo y es *indicativo* de su paso, no es claro que el tiempo *SEA* cambio. Al contrario: tal afirmación llevaría a consecuencias extrañas: cambios

simultáneos de carácter opuesto o de distinto ritmo se identificarían con el mismo tiempo. Solamente podemos decir que hay algo en común en tales cambios o movimientos: una *sucesión de estados* reales que no son todos predicables del móvil como algo propio de él en cada observación, sino que uno corresponde a una observación y otro a otra.

Estas consideraciones elementales se incorporan en la *cuasi-definición* tradicional del tiempo: «la numerabilidad de un movimiento (cambio) según un antes y un después» (*numerus motus secundum prius et posterius*). Decimos que ésta es una cuasi-definición, y no una definición estricta, porque utiliza conceptos temporales de «*antes*» y «*después*», que presuponen conocida la sucesión cronológica. No es satisfactoria la respuesta de que tal ordenación secuencial es de orden abstracto, o basada en un orden espacial: hemos dado ejemplos de relojes que no implican cambio espacial, y el principio ordenador abstracto termina siendo también una diferencia temporal, al menos de actos cognoscitivos.

Una vez más tenemos que distinguir lo que es razón de cognoscibilidad de lo que es una explicación entitativa. Conocemos el paso del tiempo por la consciencia de *cambios*, subjetivos o extra-mentales (que aparecen como tales en diversos actos cognoscitivos). Pero tales cambios *suponen tiempo*: ni lo constituyen (en cuanto es imposible asignar más valor a unos que a otros como realidades físicas temporales) ni lo explican filosóficamente (si un cambio determinado fuese explicativo de la temporalidad, lo sería solamente para el objeto cambiante, pero no para el tiempo del resto de la realidad).

Por estas razones no parece tampoco satisfactorio el distinguir entre un «*tiempo psicológico*» propio de la consciencia («*duración*» de Bergson) y un tiempo propio de los sucesos en la naturaleza no-consciente, incluyendo las edades cósmicas previas a la existencia humana. La idea de *sucesión* o cambio es aplicable por igual en ambos casos, y lo que pueda ofrecerse como explicación filosóficamente válida para uno debe serlo también para el otro.

EL TIEMPO EN FÍSICA

El concepto de Tiempo físico no es, como debe serlo en Filosofía, la *razón* de la sucesión en un cambio, sino la sucesión misma como *atributo de la materia* y condición de su actividad. El tiempo en sí *no es detectable*: la Física trata solamente de «relojes» y de sus ritmos. Estos se ven afec-

tados por aceleraciones, ya sean debidas a campos gravitatorios o a fuerzas de índole mecánica que cambian el movimiento de un reloj cuando nos encontramos ante un sistema no-inercial. En todos estos casos, según la Relatividad Generalizada, los ritmos de cambio ocurren más lentamente que en sistemas inerciales, afectando de forma no simétrica e irreversible el «paso del tiempo» *medido por tales relojes*, sean mecánicos, electrónicos, atómicos o biológicos.

Es famosa la «*Paradoja de los Gemelos*» (ya propuesta por Einstein) que presenta en forma intuitiva los efectos de la aceleración: un astronauta en un cohete que alcanza velocidades próximas a la de la luz puede volver a la Tierra habiendo envejecido solamente 10 años, por ejemplo, para encontrar que su hermano gemelo que permaneció aquí ha envejecido 60. No hay verdadera paradoja, porque no hay simetría entre ambos: el que envejece más lentamente es el que ha sufrido fuerzas inerciales en su viaje (aunque sí hay un problema físico en decir que la aceleración del cohete causa un efecto distinto del atribuible a la aceleración de la gravedad terrestre, aun con valores iguales, a = g). Puede admitirse también que la medida *psicológica* del tiempo para el astronauta será igualmente menor, por depender los procesos conscientes de la *actividad biológica* del cerebro.

Según la Relatividad, no es posible conseguir un ritmo más rápido (que el observado en reposo) de los procesos físicos por tener una aceleración negativa, ni por ningún otro medio. En el terreno hipotético de las soluciones matemáticas de ecuaciones relativistas parece posible un salto temporal hacia el futuro (cambio temporal muy rápido y discontinuo) en campos gravitatorios muy intensos (agujeros negros, si actuasen como transformadores de coordenadas espacio-temporales), pero no hay razón convincente para dar carácter real a esta posibilidad matemática. Todavía tiene menos base la sugerencia de invertir el sentido del tiempo —tiempo que fluye hacia el pasado— en un proceso físico real, por el mero argumento de que las ecuaciones que lo describen son simétricas con respecto a un cambio de signo en la coordenada temporal: nuestro simbolismo puede describir a la naturaleza, pero no determina su proceder.

Las llamadas «*flechas del tiempo*» en sentido físico nos dicen que hay procesos no-reversibles, cuya evolución indica de forma inequívoca un orden temporal. Así, por ejemplo, la combustión de un trozo de madera o el derramarse de un vaso de agua. La «*flecha termodinámica*» se basa en la *entropía* (grado de desorden) total de un sistema aislado: tiende

siempre a crecer, de modo que es posible pasar espontáneamente y sin gasto de energía a una situación de más desorden, pero no a una más ordenada. Más estrictamente, la entropía debe usarse en su sentido original, como medida de la energía no recuperable para realizar trabajo: es una definición mucho más concreta que la mención de «desorden» o de «información», especialmente con referencia a la actividad cognoscitiva auto-consciente.

En todo lo dicho de orden físico encontramos *indicaciones del paso del tiempo*, pero no de su naturaleza. Tampoco es más satisfactoria la propuesta de reducir el orden temporal a orden *causal*: el pasado puede actuar en el presente, y éste en el futuro, pero no al revés. En el diagrama de Minkowski se dibuja el cono de luz que delimita el pasado por su actividad posible en el *ahora*, actividad que nunca puede ejercerse a una velocidad superior a **c**. Del presente diverge el cono de luz que indica la posibilidad de influir en el futuro. Filosóficamente parece necesario subrayar que *el actuar presupone la existencia*, no la determina. Para que se dé el influjo causal es necesario, con prioridad lógica, que exista antes el agente que su actividad, y no puede presentarse a ésta como razón de la previa existencia.

Un punto de vista *plausible* dentro de la Física moderna es el considerar al Espacio y el Tiempo como atributos o parte del mundo material, de modo que no se les puede atribuir realidad sino en *conexión con la existencia de la materia*. Es así necesario decir que «*antes*» de existir el Universo no había «*antes*», porque no había tiempo, como tampoco había espacio. Esta posición es coherente con el modo en que la Relatividad trata ambos parámetros. Tal vez puedan ofrecerse razones en pro y en contra de la existencia «*fuera del tiempo*» de una realidad *finita no material*, como sería un espíritu creado. No es propio de nuestra investigación el discutirlo.

ESPACIO Y TIEMPO

Toda discusión del tiempo va unida a la del espacio, pues ambos se manifiestan primariamente por la percepción del *movimiento*, que es *cambio espacio-temporal*. Ya queda indicada en el capítulo anterior esta conexión íntima, desde el punto de vista de la Relatividad y la Mecánica Cuántica (Principio de Indeterminación), que nos llevó a admitir la necesidad de movimiento en la materia y a sugerir una naturaleza discontinua de todas estas realidades físicas. Para ahondar en nuestro estudio del tiempo es

instructivo el sistematizar sus coincidencias o paralelismos con el espacio, así como sus diferencias:

ESPACIO	TIEMPO
Isomórfico (igual en 3 dimensiones)	Unidireccional (del pasado al futuro)
Manifestado como distancia-extensión	Manifestado como duración
Se conoce directamente el «aquí»	Se conoce directamente el «ahora»

ESPACIO - TIEMPO

— Total *inactividad física*: los cuerpos no cambian en nada medible o físicamente detectable por cambios de posición o de tiempo (Relatividad). Un experimento debe ser repetible en cualquier lugar y en cualquier momento sin dar resultados diversos si parámetros físicos detectables permanecen constantes.
— Ambos conceptos sugieren una construcción imaginaria con los atributos de necesidad absoluta y crecimiento indefinido (*Inmensidad, Eternidad*).
— Ambos exigen una respuesta al dilema continuidad-discontinuidad.
— Ambos llevan lógicamente a preguntas de situaciones límite, pero no exactamente correspondientes: compenetración —contemporaneidad; multilocación— multitemporalidad; a-espacialidad y a-temporalidad.

La característica común más básica, en esta comparación de espacio y tiempo, es el carácter *relativo* de nuestras percepciones: conocemos solamente *relaciones de distancia o de sucesión*. En el caso del tiempo, la existencia de algo se afirma o se niega con respecto a la de otro ser, aun no material (por ejemplo, nuestros actos conscientes). La relación de *simultaneidad* afirma existencias que pueden percibirse como componentes de un único acto cognoscitivo, y que son cognoscibles *directamente*, sin deducción o inferencia intermedia; tales existencias pueden también tener influjos mutuos inmediatos. En cambio el pasado sólo puede inferirse (parcialmente) del presente, y el futuro puede deducirse del presente (en forma incompleta e insegura en muchos casos). Sólo el futuro puede ser afectado por el presente: no hay causalidad física hacia el pasado.

Como toda relación, la relación temporal exige términos y fundamento, que deben ser reales para que la relación sea real. ¿Cuál es el fundamento de la relación temporal? Si dos cosas son contemporáneas, *¿qué tienen en común*? Si no lo son, *¿en qué se diferencian*? Cuando decimos que el tiempo fluye, *¿qué es lo que fluye, y dónde*? En su forma filosófica más

general: *¿qué hay en la realidad material que motive y justifique nuestra afirmación de que esa realidad tiene un carácter temporal?* Es la pregunta simétrica a la que se formulaba al hablar de la justificación de nuestras percepciones espaciales.

La conexión entre *movimiento-cambio y tiempo* no prueba que el tiempo *SEA* movimiento (que en muchos casos sólo se da a un nivel microscópico, imperceptible), sino que el movimiento *implica* tiempo, como es obvio. No puede encontrarse la naturaleza del tiempo en la esencia de las cosas ni en sus propiedades físicas, que no se ven afectadas por el cambio temporal. Es necesario buscar un fundamento de la objetividad del tiempo en otro aspecto del mundo cognoscible.

RESPUESTAS FILOSÓFICAS

De una manera semejante a la utilizada tratando del Espacio, podemos proponer diversas respuestas a la pregunta sobre la objetividad del Tiempo:

a) Nos encontramos primeramente con la posición Kantiana, que busca la razón del carácter temporal no en las cosas en sí, sino en nuestras facultades cognoscitivas. Si el espacio se consideraba una «forma a priori» de la sensibilidad externa, el tiempo sería una «forma a priori» de la *sensibilidad interna*, afectando incluso a nuestros actos conscientes sin referencia exterior. No hay tiempo en la realidad extramental, o si hay algo que tenga carácter temporal, nos es *totalmente incognoscible*. Nuestra función cognoscitiva *imprime el sello temporal* a todas nuestras sensaciones, que aparecen ordenadas en una sucesión meramente *subjetiva*. Como consecuencia lógica, debe considerarse también *ilusorio* el movimiento, pues sus elementos constitutivos lo son por separado.

Ya se ha indicado que este punto de vista lleva directamente a un idealismo radical: si el carácter temporal y espacial del mundo no es un reflejo de la realidad extramental, tenemos que decir que nada de lo que existe fuera de nosotros nos es cognoscible en modo alguno, pues la actividad del mundo exterior se da solamente por sus *cambios espacio-temporales*, y por ellos hay una interacción con nuestro conocer. Puede insistirse de nuevo en la arbitrariedad de atribuir el carácter temporal de la interacción *a uno de sus extremos solamente*, a la facultad cognoscitiva: toda interacción exige algo en común, y los elementos que se influyen mutuamente contribuyen al resultado común.

Si nos fijamos en las consecuencias extremas de esta posición subjetivista, se ve claramente que no es admisible, además de ser *gratuita* y *sin pruebas* científicas o filosóficas convincentes. Tendríamos que decir que ni el mismo sucederse de nacimiento y muerte sería objetivamente verdadero: tal diferencia temporal (falta de simultaneidad) se debería exclusivamente a esa función ciega de nuestro conocer. Ni puede darse una *razón suficiente* para el orden temporal de causa y efecto que aparece en todos los niveles de nuestra experiencia.

Podemos, ciertamente, admitir el elemento subjetivo de la percepción del tiempo en nuestros estados psíquicos (duración Bergsoniana), que lleva consigo el ver como de mayor longitud temporal una experiencia desagradable que otra placentera de igual duración cronométrica. Pero es posible insistir, aun en estos casos, en que la *sucesión* de prioridad y posterioridad, esencial al tiempo, sigue presente *con independencia de nuestra voluntad o cualquier otro factor subjetivo.*

b) Posición Newtoniana: *Tiempo Absoluto.* Newton establece un marco temporal objetivo absoluto, que «fluye uniformemente» sin afectar a las cosas del mundo físico ni ser afectado por ellas, dotado de las características de *infinitud y necesidad* que llevan a darle un carácter divino. Si queremos afirmar un comienzo o un fin del tiempo, estamos necesariamente implicando un tiempo anterior y otro posterior a cualquier límite. Ni nos es posible imaginar la ausencia de tiempo, aun en la ausencia de todo ser o actividad material. Es la *Eternidad divina* la que sirve de duración universal con la cual coexisten las duraciones finitas de las cosas, de modo que nuestra temporalidad es una participación de simultaneidad con una duración concreta del eterno tiempo de Dios.

No aparece claro en esta solución Newtoniana qué papel juega la idea de cambio («movimiento»), tan central en nuestra descripción y percepción del tiempo. En Dios no hay cambio, ni se ve qué es lo que «fluye» en ese flujo eterno propuesto. Tampoco parece lógico explicar el flujo temporal de las cosas por otro flujo paralelo, *pero ajeno a ellas.* Aunque queramos afirmar que el cambio temporal de cada ser finito «coexiste» con esa temporalidad divina, *¿qué tienen en común?* No es una explicación de lo que hay en el mundo creado el afirmar que algo parecido existe en su Creador, aunque tal afirmación fuese teológicamente aceptable en el caso del tiempo. Seguimos necesitando una explicación filosófica de ese «antes y después» inherente a todo movimiento, ciertamente presen-

te en el ser *cambiante*, sin poner una mayor dificultad todavía afirmándolos del Ser *necesario e inmutable*.

El punto de vista ahora expuesto tiene una peculiaridad que lleva a otro grupo de soluciones: presenta al tiempo de las cosas en *relación* al tiempo de Dios. Es esta idea de relación la que se utiliza en las demás explicaciones, bien sea la relación causal de la Física, de la que ya hemos hablado, bien una mera relación extrínseca de orden intuído en los movimientos con respecto a nuestro conocimiento o a otros fenómenos externos. Es posible hablar, por ejemplo, de cambios en el núcleo de una estrella lejana como coetáneos con la evolución de una célula en la Tierra, aunque no se establezca relación causal alguna, ni fuese posible un influjo físico mutuo.

c) En la siguiente propuesta se *explica la temporalidad por un conjunto de relaciones* entre los seres temporales. Relaciones de anterioridad-posterioridad o de simultaneidad, que establecen el orden ya incluido en la cuasi-definición con que comenzamos nuestro estudio.

¿Cuál es el *fundamento* de esta relación temporal? Podría pensarse en responder afirmando que la duración de las cosas explica su simultaneidad, o el que aparezcan ordenadas en un antes-después. Pero si la extensión no podía explicar la diversidad de lugar, que la misma extensión supone, tampoco la *duración* (opuesta al «momento» como la extensión es opuesta al «punto») puede ser base explicativa de una sucesión temporal que también va *incluida en su concepto*; sería decir que dos sucesos distan en el tiempo porque hay una duración entre ellos, y que esta duración es «distancia temporal» a su vez porque la limitan dos tiempos distintos.

Claramente no puede tampoco buscarse la base de la relación temporal en ninguna característica perceptible de los seres materiales, que no se ven afectados en nada por el mero paso del tiempo (aunque la duración temporal sí *permite* el que haya cambios que pueden alterar sus propiedades con algún modo de envejecimiento). Lo único que puede sugerirse como base para la relación temporal en el ámbito de lo perceptible es el cambio o *movimiento* en el sentido Aristotélico. Y esto *presupone* la sucesión temporal, como la relación de distancia del lugar extrínseco presuponía la previa diversidad de localización de los objetos que se pedía localizasen al que consideramos.

Para salvaguardar la objetividad de la relación temporal, sin caer en círculos viciosos o procesos sin fin, parece necesario postular una reali-

dad accidental propia de cada cuerpo, de carácter absoluto, cuyos cambios reales dan razón de los cambios relativos, o de las diferencias y semejanzas implicadas en las afirmaciones de simultaneidad o sucesión. Esta «*carga temporal*» constituiría en el tiempo a la esencia de un objeto, haciéndole existir en contemporaneidad con otros seres dotados de carga temporal idéntica, y estableciendo así la posibilidad de interacción física o cognoscitiva. Una diferencia de carga temporal, por otra parte, situaría a dos o más seres en una relación de *aislamiento mutuo*, de tal modo que toda interacción es imposible: aun en el cono de luz de Minkowski el pasado influye en el presente porque algo de ese pasado *perdura* hasta el presente y es *coetáneo* con él.

El problema más difícil de resolver en esta hipótesis, que no encontrábamos al hablar del espacio, es que esa carga temporal no parece poder mantenerse: no es posible «*parar el tiempo*», sino que la carga temporal necesariamente aparece como de naturaleza cambiante. Y este cambio ¡*presupone tiempo*!. Así parece que no hemos avanzado mucho con respecto a la definición clásica.

Al hablar del movimiento sugeríamos que la razón última de que todo ser material aparezca en movimiento y que se dé la inercia, podría encontrarse en la naturaleza compuesta del ser material, finito y mudable. Su continuo «hacerse» es el *carácter temporal* que le limita en lo que puede tener de real como totalidad en cada interacción, así como su carácter espacial limita el ámbito a donde esa actividad puede alcanzar. Al no poder intuir la esencia de la materia, sino solamente deducirla por su proceder, necesariamente llegamos a un límite explicativo en el que nuestros conceptos y sus expresiones verbales son inadecuados. Todo filósofo alcanza esta situación al tratar de muchos problemas, y esto se cumple muy pronto al tratar del tiempo.

Aun confesando que no es totalmente satisfactoria la hipótesis de una «carga temporal», sí parece acercarse más a una solución que las otras alternativas. Nos da una *razón* válida para afirmar *simultaneidad o sucesión*; sugiere también una razón para el *nexo causal posible*, exigido por la Física; es coherente con la idea básica de que *toda relación exige un fundamento* real para ser real, y que el cambio de relación exige un *cambio en el fundamento*.

Podríamos sugerir también una relación entre carga temporal y parámetros físicos si suponemos que el Universo comenzó a existir con una carga temporal finita que luego se desgasta por transformación en otra realidad dentro de la materia (¿crecimiento de entropía?), o viceversa,

que aumenta a expensas de la actividad material. Tal especulación debería elaborarse desde el punto de vista de una posible comprobación experimental, que actualmente no parece ni posible ni calculable en términos de ley física conocida.

SUGERENCIAS FÍSICAS ADICIONALES

Si la naturaleza del tiempo es tan misteriosa, resulta casi contradictoria la pregunta sobre su estructura continua o discontinua. Imaginativamente exigimos que el tiempo sea continuo: cualquier intervalo no-cero es automáticamente divisible sin fin. Pero ya hemos hecho notar al hablar del movimiento que esta característica de continuidad, analizada en detalle, no es sino la consecuencia de poder siempre realizar la *composición mental* entre los conceptos de «*algo*» expresado como cantidad en cualquier medida, y «*fracción*». Se trata así de un proceso lógico, que no tiene que tener necesariamente una contrapartida real en el mundo de la materia del que tratamos.

Pero si el tiempo *REAL* describe y condiciona la actividad de la materia, es aceptable la idea de cuantificación si tenemos razones para afirmar que todo proceso físico exige un tiempo mínimo para realizarse, y que el movimiento o cambio es siempre discontinuo como consecuencia. Este es el sentido del «*tiempo de Planck*», ya mencionado. Aunque su duración se obtiene por una combinación *hipotética* de constantes que produce la dimensionalidad correcta, y podría argüirse otro modo de alcanzar un valor distinto, lo importante desde el punto de vista filosófico es la posible existencia de un *mínimo* de tiempo, y no su valor real, que es ciertamente muy inferior a cualquier medida posible.

Ya se ha hecho notar que, en la Física actual, espacio y tiempo aparecen como íntimamente ligados a la materia y su actividad, de modo que no se puede hablar de ellos si la materia no existe. Como consecuencia, *el tiempo tuvo un comienzo*, y no es inteligible un tiempo «anterior a la Creación». Por otra parte, una vez que la materia existe, las leyes físicas no permiten predecir que deje de existir totalmente, aunque su nivel de actividad quede reducido a fluctuaciones de un vacío próximo al cero absoluto (como veremos al tratar del fin del Universo). Es necesario, en consecuencia, admitir un tiempo que se extiende en un futuro *sin término*. Solamente una verdadera aniquilación —vuelta a la nada— de todo lo material, llevaría lógicamente a la cesación del tiempo.

¿Es necesariamente irreversible el tiempo? Aunque a veces hablan los físicos de una inversión de su flujo, en realidad solamente describen la reversibilidad de *procesos indicadores* del tiempo, y suponen —gratuitamente— que dos situaciones físicas idénticas en *parámetros experimentales* son también idénticas en su *temporalidad*. Se da como el ejemplo más completo el supuesto de un Universo que se contrae después de la expansión que hoy observamos, y se afirma que *durante la contracción el tiempo fluiría hacia el pasado*. Tal modo de hablar es totalmente incorrecto, tanto en Física como en Filosofía: sigue siendo verdad que la contracción *SIGUE* a la expansión, y cada etapa de mayor densidad y temperatura depende de las condiciones físicas del estado anterior.

Aunque en un momento determinado pudiese un observador decir que las posiciones y energías de todas las partículas del Universo tienen los mismos valores de un momento previo durante la expansión, *sus momentos mecánicos serían opuestos*, como serían opuestos los signos matemáticos de los cambios de energía. Ni se puede apelar a ciclos completos de expansión-contracción, como si el tiempo se repitiese cada vez que en un ciclo se dan las mismas condiciones físicas: seguiría siendo posible afirmar que tal situación se da «*otra vez más*», aunque fuesen físicamente indistinguibles. No es que la disposición y actividad de seres materiales *defina* un tiempo u otro, sino que la variedad temporal hace posible que haya situaciones diversas o similares, una vez o muchas sucesivas.

Una reversibilidad *parcial* del tiempo es también inadmisible. Decir hoy que voy a ir al pasado donde nunca he estado conlleva la contradicción de decir que mi viaje es *futuro y pasado* a la vez: no he ido aún, pero implico que ya he ido al afirmar que me encontré en una situación que ya es pretérita. Paradojas de tipo causal son también obvias: un viaje al pasado resultaría en una modificación de sucesos de los cuales depende el presente, que *ya tiene* características innegables. Ni es aceptable la situación circular en que un viajero temporal, por ejemplo, aprende en el futuro cómo construir la máquina que ahora le lleva a ese futuro donde debe aprender a hacerla. Incluso los relatos de ciencia-ficción se ven limitados por estas paradojas si quieren mantenerse dentro de la racionalidad y no caer en contradicciones.

Se menciona, en cambio, como libre de absurdos lógicos o físicos un viaje al futuro *sin regreso al presente*: un salto temporal macroscópico en la dirección de los saltos temporales ultra-microscópicos del tiempo de Planck. Es equivalente esta hipótesis a decir que un ser material podría existir y encontrarse en su entorno físico hoy, y también dentro de un

año, pero que no podría decirse que existía o actuaba de modo alguno en el tiempo intermedio. Filosóficamente, podemos expresar esta suposición como un cambio intrínseco de carga temporal *sin pasar por valores intermedios*. No parece absurda tal posibilidad, y la Física la sugiere muy especulativamente para algo que se introdujese en un agujero negro (teóricamente posible, sin destruirse, para agujeros negros giratorios, tipo Kerr). Las ecuaciones de su trayectoria parecen permitir un cambio drástico de coordenadas a otro espacio *y también a otro tiempo*. Pero se trata más de una deducción abstracta de unas ecuaciones que de una descripción de un cambio físico debido a la actuación de alguna fuerza conocida.

Al hablar de situaciones límite como ilustración de las consecuencias de teorías espaciales, mencionamos la posibilidad de compenetración, multilocación y a-espacialidad. Preguntas semejantes pueden formularse con respecto al tiempo, no con perfecta simetría sin embargo, pues el tiempo tiene dirección única. Como es obvio, a la compenetración puede compararse la contemporaneidad, que es perfectamente normal y exigida por la posibilidad de interacción.

En cambio a la multilocación no corresponde la *multitemporalidad* en forma paralela, pues ésta lleva fácilmente a absurdos y violaciones de la causalidad: el pasado influye en el futuro, y una presencia en varios tiempos tiene en su contra las objeciones ya presentadas contra la reversibilidad del tiempo, aun parcial. Ni hay argumento alguno de datos experimentales que lo sugieran; únicamente podría aducirse en su favor (caso de demostrarse sin lugar alguno a duda) la precognición de futuros libres, afirmada una y otra vez por investigadores de para-psicología, pero todavía no demostrada en forma satisfactoria a juicio de la mayoría de los científicos.

De darse realmente, sería posible decir que la mente humana, cuyas funciones de conocimiento abstracto, consciencia y libre albedrío indican una naturaleza no-material, podría en circunstancias especiales conocer *fuera del marco espacio-temporal* propio de la materia que normalmente condiciona la actividad mental por la unión con el cerebro. En ese sentido, se conocerían dos tiempos simultáneamente: el presente del que tiene tal experiencia, y el futuro de su conocimiento. Si esto llevaría o no a dificultades lógico-causales es demasiado especulativo para su discusión en estas páginas.

Finalmente, a la a-espacialidad corresponde la a-temporalidad. Si hemos dicho que el marco espacio-temporal es atributo *accidental* de la materia, que condiciona su *actividad*, no es necesariamente obvio que

condicione su *existencia*. Podría darse un cuerpo que no está ni en el espacio ni en el tiempo, pero que existe realmente, aunque sin posibilidad de manifestarse por interacción alguna con el resto del mundo físico.

La Física utiliza expresiones sugerentes de tal modo de existir dentro de un agujero negro (la materia que cae dentro del radio de Schwarzschild queda «fuera» de nuestro espacio y nuestro tiempo), pero lo único que realmente se afirma es su *inaccesibilidad* para cualquier observador externo. La materia oculta en ese «pozo sin fondo» causa la curvatura del espacio que indica qué cantidad de masa hay en el agujero negro, y que afecta a todos los «relojes» en su vecindad hasta el punto de hacerles parecer parados. En ese sentido, de situación estática para todo proceso físico *observado desde fuera*, el tiempo allí se detiene; no hay cambio. Si uno define el tiempo real por los cambios observables, puede decir entonces que tampoco hay tiempo. Es posible, sin embargo, seguir afirmando la existencia *simultánea* del reloj parado con el sistema físico-temporal del observador, con lo cual se admite realmente su continuada temporalidad.

En la paradoja de los gemelos, se dice que el tiempo es diverso para los dos hermanos, aunque ambos experimentan un intervalo con *momentos iniciales y finales coincidentes*. Durante ese intervalo, es siempre posible afirmar que cuando uno de los hermanos existe, el otro existe también. Viven, por tanto, *simultáneamente*, durante un mismo tiempo, aunque su *medida* por efectos físicos sea diferente.

La posibilidad de existencia de la materia fuera de su marco espacio-temporal, dentro del cual actúa normalmente y es perceptible, no tiene consecuencias para las ciencias experimentales ni para la Filosofía de la Naturaleza, en cuanto ésta se basa en nuestro conocimiento sensible, como indicamos al comienzo de nuestro estudio. Pero puede tener interés en el contexto de una discusión completa del Universo, incluyendo el problema de su eventual destrucción y de su finalidad, que parece no quedar a salvo sino con la supervivencia humana.

Consideraciones ulteriores desde un punto de vista teológico cristiano deben tener también en cuenta con cuidado la relación «espacio-tiempo-materia» al tratar de la resurrección, que puede formularse en términos de existencia del cuerpo «*a modo de espíritu*»: no debemos permitir que nuestra imaginación o «sentido común» sobre la materia limiten lo que se afirma sobre ella. Entre otras cosas, debemos hacer notar que el tiempo y la eternidad no son *cuantitativamente* distintos, sino *cualitativamente*: lo eterno no tiene duración alguna, corta ni larga; está fuera del tiempo.

VI
ACTIVIDAD DE LA MATERIA

El estudio de la realidad material fuera de nosotros depende de una interacción entre la materia de ese mundo externo y la materia de nuestros sentidos. Hemos considerado las características generales que podemos encontrar básicamente en ese mundo como marco en el que se desarrolla el proceso de nuestras sensaciones: espacio, tiempo, movimiento. Es ahora necesario estudiar el carácter concreto de la materia que posibilita nuestro conocimiento como *interacción*, pero extendiéndolo a toda interacción materia-materia. Es este influjo mutuo el que puede servir como definición general de la Física, que estudia la «materia» sólo en cuanto puede tener alguna interacción cuantificable y verificable experimentalmente, al menos en principio.

FORMAS DE ACTUAR

Son cuatro las interacciones que se comprueban experimentalmente en el estado actual del Universo: *gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil*. Mientras que hay razones teóricas y datos experimentales para sugerir que en procesos de muy alta energía estas interacciones (o «fuerzas») pueden reducirse a dos o —tal vez— una, hoy la actividad constatable aparece como diversificada al modo dicho. Y no hay fenómeno material comprobado que sugiera la existencia de una quinta fuerza equiparable a las otras cuatro.

Las dos primeras interacciones son de largo alcance, disminuyendo en intensidad en proporción al cuadrado de la distancia entre los cuerpos que se afectan mutuamente. Ambas fuerzas nucleares son, por el con-

trario, de alcance tan mínimo que apenas es medible o calculable: si se acepta que las partículas elementales del átomo tienen un diámetro no-cero, parece que el alcance de tales fuerzas es de la misma magnitud que su radio. En realidad, la Física les asigna radio por el proceso inverso, determinando la distancia mínima a que dos partículas pueden acercarse antes de que las fuerzas nucleares se hagan sentir en un proceso de choque.

El efecto de las cuatro fuerzas y el tipo de materia sobre el que se ejerce su acción es también diverso. La fuerza gravitatoria tiene un efecto universal de «atracción», en el sentido filosófico de hacer que toda materia tienda a adquirir *idéntica localización*. No se ha encontrado nunca el efecto opuesto, de repulsión o de insensibilidad: no hay *aislantes* para la gravedad ni hay *anti-gravedad*. Es necesario admitir que hasta el calor y la luz son afectados por esta «fuerza» que aparece como verdaderamente universal.

La fuerza electromagnética tiene, por el contrario, efectos de atracción o repulsión, y actúa sobre parte del mundo material solamente. No afecta a la luz ni a otras formas de energía; entre las partículas, sólo aquellas que poseen algo especial, distinto de su masa, que llamamos «*carga eléctrica*», son fuente y objeto de las fuerzas electromagnéticas. Una vez más, el proceso experimental es el inverso: se determina si una partícula tiene o no una carga eléctrica por su comportamiento en presencia de otras cuya carga se conoce. Es posible también encontrar barreras al efecto de esta fuerza, de modo que cuerpos con carga parezcan inmunes a la presencia de otras cargas (*aislados* eléctrica o magnéticamente).

La fuerza nuclear fuerte es solamente atractiva, como la gravedad, pero afecta exclusivamente a un tipo de partícula, generalmente pesada («*bariones*»). Hoy se afirma que tal fuerza es la resultante, dentro del núcleo atómico, de una fuerza más profunda entre partículas más elementales («*quarks*») a las que se asigna otra carga nueva, llamada de «*color*», que puede darse en tres variedades (mientras hay dos tipos de carga eléctrica y un único tipo de masa).

La fuerza nuclear débil no es ni atractiva ni repulsiva, sino *transformadora*. Actúa sobre todas las partículas elementales conocidas, con un radio de acción tan ínfimo que no es medible sino como un límite superior: cuando dos partículas se encuentran dentro de ese límite, hay una transformación, acompañada de la emisión de otra partícula muy peculiar (*neutrino*). Así el choque de dos protones (partículas pesadas con carga eléctrica positiva) puede llevar a la transformación de un protón en un neutrón, con la emisión del neutrino y de un electrón positivo.

Los efectos descritos en términos de partículas se complementan en el caso del electromagnetismo y de la gravedad con la emisión de energía (ondas) cuando la carga eléctrica o masa gravitatoria sufre una aceleración (ondas electromagnéticas y gravitatorias). Tales ondas pueden también considerarse como partículas: el «fotón» en el primer caso y» el «gravitón» en el segundo (todavía sin comprobación experimental). Y esta energía emitida tiene interacciones con otras partículas o energías a quienes alcanza.

INTERACCIONES

La idea de interacción o fuerza, como base explicativa de la actividad de la materia, supone en ésta unas propiedades que solamente son definibles en forma *operacional*, precisamente por sus efectos. Esto puede parecer, en cierto sentido, tautológico: se postula «algo» como razón suficiente de un comportamiento no explicable en términos de otros parámetros previamente admitidos. Así fue necesario introducir y aceptar el concepto de carga eléctrica cuando se tuvo que justificar una atracción y repulsión que no era explicable cualitativa ni cuantitativamente en términos de masa gravitatoria. Lo mismo ha ocurrido una y otra vez cuando nuevos fenómenos exigen nuevas causas: es propio y necesario en la actividad científica el buscar una razón suficiente de lo que se observa y no constatar simplemente unos hechos.

En culturas primitivas, incluyendo la cultura bíblica del Antiguo Testamento, se buscaba algo *no-material* como explicación de fenómenos astronómicos (alternancia de día y noche por decreto divino, el rayo o el arco iris como señales de actitudes de Yahvé; ángeles impulsores de los planetas incluso en el medioevo). En la Filosofía clásica, a partir de los griegos, se utilizaba el concepto de fuerza en un sentido elemental, no cuantificable. Se hablaba de «*tendencias*», *aplicando* a las cosas inanimadas un lenguaje propio de los seres vivientes (así en el caso de la tendencia natural de los graves a ocupar el lugar más bajo, o de la «*fuerza viva*» equivalente a la energía cinética). En contraposición, los *atomistas* primitivos querían reducir toda la actividad natural a choques entre partículas *inertes*, desprovistas de fuerzas internas. Podríamos decir que aun el mismo Newton, proponiendo su «Ley de la Gravitación Universal», no se atrevía a utilizar claramente el concepto de fuerza como una realidad *intrínseca a la materia*: solamente dice que

«*todo ocurre como si los cuerpos se atrajesen*» con una fuerza proporcional a sus masas.

En cambio, en la Física moderna, el concepto de *fuerza* como razón intrínseca de actividad es central en nuestra descripción de la materia. Así como en la Teoría de la Relatividad nos aparecía como imposible el estado de reposo absoluto, también debemos*excluir la existencia de materia inactiva*, sin interacción con su entorno, incluyendo en éste al mismo espacio físico vacío. De una forma elemental, podemos decir que lo que «*no hace nada*» no es parte del mundo material*: o no existe o no es materia.* Si no hay efectos comprobables experimentalmente, no hay Física, ni es posible estudiar nada dentro de la metodología científica: afirmación importante que volveremos a analizar cuando se trate de deslindar las fronteras de lo cognoscible dentro de cada campo.

La formulación exacta y generalizada del modo de proceder de cada constitutivo del mundo material en circunstancias concretas constituye la mayor parte de la Ciencia moderna, que no se satisface con un mero catálogo de hechos, según queda ya subrayado. Siempre se buscan razones explicativas, que se basan últimamente en *lo que la materia es*, en su *naturaleza*, usando el término filosófico que se aplica a la esencia de un ser considerada como raíz y razón suficiente de sus operaciones.

PLANTEAMIENTO FILOSÓFICO

Los problemas filosóficos relacionados con este tema son clasificables, dentro de tres apartados, como respuestas a tres preguntas: *¿Es activa la materia, con una actividad irreductible a mero movimiento local? ¿Cómo se transmite la actividad de un cuerpo a otro? ¿Qué leyes rigen la actividad?* Dentro de cada pregunta encontraremos otros interrogantes impuestos por explicaciones científicas o filosóficas de diversas épocas o autores.

a) Actividad-Pasividad

Entre los filósofos de la antigüedad ya hemos mencionado a los atomistas, que reducían la actividad de la materia a choques mecánicos entre partículas elementales moviéndose en un vacío inerte (un «no-ente» que existía tan realmente como los entes). Es posible interpretar de modo parecido la definición cartesiana de la materia como *extensión*: si ésta es la *esencia* de la materia, al ser la extensión de carácter totalmente *pasivo*,

la materia debe serlo también, aunque se admita el movimiento local como forma de actividad *extrínseca* a los cuerpos. Pero esta deducción deja de ser válida si la extensión se afirma solamente como una *propiedad* necesaria y característica del ser material, sin excluir su coexistencia con otras propiedades activas.

Una posición que reduce la actividad al movimiento (nacida de la falta de datos) es claramente incompatible con la Física moderna que nos muestra fenómenos —como la transformación de una partícula en otra o de un par de partículas en energía— que no son explicables en términos de choques mecánicos, aunque sí van acompañados de cambios locales. Las mismas atracciones y repulsiones observadas a diversos niveles, y con diversa intensidad, aun entre partículas o cuerpos macroscópicos *que no se encuentran en contacto*, exigen también interacciones más complejas que simples choques. Tales interacciones son la expresión de «fuerzas» o capacidades activas, inherentes a las partículas y parte necesaria de su ser.

Otra postura extrema, más importante dentro del apartado siguiente, es la de negar a la materia toda actividad no porque se deje de admitir su existencia, sino porque la acción se atribuye solamente a una potencia divina (*«armonía pre-establecida»* de Malebranche): *es Dios quien actúa* sobre un cuerpo como consecuencia de un *plan original* o con *ocasión* de que otro cuerpo exista en una situación determinada (*ocasionalismo*). Es claro que este recurso a la acción divina no es una explicación aceptable mientras sea posible encontrar otra más estrictamente filosófica.

Si hoy no parece posible negar la existencia de propiedades activas, puede caerse en la tentación opuesta y llegar a decir que la materia es *pura actividad*. Como postura filosófica, se atribuye a los llamados *«dinamicistas»*, cuyos representantes principales son Boscovich y Palmieri. Partiendo de una hipótesis de partículas inextensas, y considerando a la extensión como *única* razón de pasividad, se afirma que todo lo que es la materia es un *complejo de actividades* de diverso signo e intensidad. Así Boscovich (jesuita yugoeslavo del s. XVIII) nos propone «centros de fuerza» inextensos, que a larga distancia causan atracciones (gravedad); a distancias cortas producen repulsión (impenetrabilidad de los cuerpos); a distancias microscópicas dan paso a atracción (cohesión de la materia de orden molecular y atómico); finalmente, a distancias mínimas impiden el colapso de la materia en un punto por una última repulsión de máxima intensidad.

Es claro, sin embargo, que todo este proceso se basa en la interacción de unas partículas con otras. Por tanto unas partículas reciben la acti-

vidad de las otras, en un afectarse mutuamente que no podría darse sin una cierta pasividad, que es la *receptividad de influencias externas*. De otro modo el concepto de *interacción* sería contradictorio: no es posible hablar, por ejemplo, de comunicación por radio si solamente tenemos transmisores, pero no receptores. Es tan sólo desde el punto de vista de aceptar a la extensión como propiedad fundamental que hace pasiva a la materia como puede decirse que Boscovich habla de pura actividad al afirmar que la materia está constituida últimamente por puntos inextensos.

Podemos, por tanto, afirmar el carácter *activo-pasivo* de todo lo que corresponde al término moderno «materia». Incluso la «*pura energía*» de un fotón, unidad cuántica de energía en la interacción electromagnética, se ve afectada y muestra «pasividad» en un choque con un electrón (efecto Compton) o con otro fotón. De modo semejante, el espacio físico vacío es afectado por la presencia de masa (Relatividad Generalizada), y afecta a su vez a masas y rayos de luz que lo cruzan, como ya hemos visto en el tema de la estructura espacial. Es así necesario hablar de «interacciones» como tema de la Física, y éstas exigen, por su propia naturaleza, una *influencia mutua* entre realidades capaces de actividad y pasividad.

El problema filosófico que esto presenta debe tratarse en el tema de la estructura del ser material, donde veremos que hay propuestas (*teoría Hilemórfica*) que sugieren una composición ontológica doble de toda la materia, mientras que otro punto de vista considera que tal dualidad activo-pasiva es aceptable como algo conceptual adecuado para la descripción de una realidad compleja, pero no como expresión de una doble estructura de carácter físico. En cualquier hipótesis, queda afirmado el proceder dual de la materia, sea cual sea su última causa filosófica. Y este proceder justifica las afirmaciones hechas en temas previos acerca de la objetividad de las sensaciones y de las características espacio-temporales del mundo externo, que se deducen precisamente de la interacción del mundo con los órganos sensoriales.

b) Transmisión del Influjo

El segundo punto a tratar es el de la transmisión de la actividad, problema especialmente difícil para aquellas fuerzas que actúan entre cuerpos claramente distantes entre sí: la gravedad y la fuerza electromagnética, ambas de alcance ilimitado.

Aceptando la realidad del *vacío físico*, dotado de propiedades y parte del universo material, podemos decir que dos cuerpos nunca están totalmente aislados: cada uno afecta a ese vacío y es también afectado por él. Por tanto, la idea primitiva de «*acción a distancia*» pierde una de sus condiciones presupuestas generalmente: la «*nada*» entre los cuerpos de cuya interacción tratamos. Es, aun así, filosóficamente importante el subrayar las dificultades conceptuales y físicas de una verdadera acción a distancia en el sentido tradicional, de que un cuerpo pueda afectar a otro sin un *intercambio* de nada material por el espacio que los separa.

Si consideramos un cambio físico en un cuerpo, como puede ser el encender una lámpara, debemos pedir una razón suficiente de que ese cambio se vea acompañado automáticamente por otro cambio en los cuerpos circundantes: aparecen iluminados. Si nada pasa de la lámpara a los otros cuerpos, ¿por qué se da ese cambio en ellos? Filosóficamente sólo cabe una respuesta que ponga la causa en algo que no es propio de los mismos cuerpos: o bien una «programación» previa de la naturaleza inanimada, por la cual tales fenómenos se dan simultáneamente sin influjo mutuo (armonía pre-establecida), o se atribuye la actividad a un Ser nomaterial —Dios— que es la única causa de toda actividad física, ejercida en un cuerpo «con ocasión» de un cambio en el otro (Ocasionalismo). Estamos de nuevo ante la negación de interacciones físicas reales.

Como esto equivale a negar toda propiedad activa de la materia, se destruye la razón lógica que fundamenta las ciencias físicas: tendríamos que decir, últimamente, que Dios actúa creando nuevos fenómenos en cada caso por razones incognoscibles. Es un retorno a la idea primitiva que atribuía la salida del sol cada mañana a una nueva decisión de la divinidad, a la que era necesario propiciar para que las estaciones y el ritmo día-noche no se interrumpiese. Tal punto de vista vuelve inútil todo intento de estudiar la materia y sus propiedades.

Desde el punto de vista físico, es obvio que sin un influjo *transmitido* realmente de un cuerpo a otro no hay razón para que se dé una *dependencia de la interacción con respecto a la distancia*. Y esta dependencia es perfectamente constatable y medible, con resultados diversos para la gravedad y electromagnetismo por una parte (disminuye la intensidad según el cuadrado de la distancia) y para la fuerza nuclear fuerte, que decae mucho más bruscamente. Si *nada* pasa de un cuerpo a otro por el espacio intermedio, la *distancia* a través de ese espacio no debe influir en modo alguno en la interacción.

Es verdad que una metodología estrictamente positivista (que admite sólo lo que es verificable por experimentación *directa*) puede rechazar la idea de transmisión de un cuerpo a otro, pues lo único observable es el efecto *en un cuerpo*: no puedo observar la luz en tránsito, sino reflejada por algún cuerpo iluminado (aunque éste sea el polvo del aire por donde se propaga). Pero las razones aducidas son suficientes para desechar la acción a distancia estrictamente dicha.

Partículas Transmisoras de Fuerzas

Admitiendo que *algo material* de un cuerpo alcanza al otro para modificarlo, tenemos todavía dos posibilidades: la *emisión de entidades discretas* que se intercambian, tal vez con diversa velocidad según los casos, o la *modificación de un medio* (espacio físico vacío) que, a su vez, actúa sobre otros cuerpos. En el primer caso tenemos la interacción por intercambio de partículas, reales o «*virtuales*» (explicación cuántica), mientras en el segundo apelamos al concepto de «*campo*» (explicación relativista, o semejante a ella).

La emisión de partículas reales puede considerarse isotrópica y constante, que ocurre siempre y en todas direcciones *sin estímulo externo*, o bien debida a la *presencia de un receptor* y, tal vez, sólo dirigida a él. En el primer caso, es de esperar una pérdida de energía de algún tipo por tal emisión, con la consiguiente debilitación de la fuerza con el paso del tiempo. Esto no es observado de hecho, ni hay teoría alguna física comprobada que lleve a predecir una disminución de la intensidad de las interacciones como función del tiempo. No hay desgaste, por ejemplo, de la carga eléctrica del electrón, cuyo valor determina las frecuencias de la luz emitida por un átomo, si juzgamos sobre la base de la luz de galaxias lejanísimas (que brillaban hace miles de millones de años) comparada con la de un sistema de átomos idénticos en nuestro laboratorio.

La emisión de partículas reales suscitada por la presencia de un receptor y dirigida sólo a él, *presupone una interacción previa* que permita a un cuerpo reaccionar a la presencia de otro. Tal «enterarse» de esa presencia es ya una interacción física, si no queremos caer otra vez en la armonía pre-establecida o el ocasionalismo previamente descritos. No es un avance explicativo el transferir la pregunta de cómo actúa el cuerpo a esa supuesta fase previa.

La física cuántica utiliza el concepto de «partículas virtuales» portadoras de fuerzas, que serían emitidas y reabsorbidas por el cuerpo

emisor si no encontrasen el receptor adecuado. De este modo se evita la pérdida neta de energía en una interacción en que ambos cuerpos intercambian tales partículas. La masa de la partícula intercambiada es el factor que determina el radio de acción de cada fuerza: radio ilimitado para masa cero (*fotón* o *gravitón*), radio muy restringido para masa grande (*mesón pi* de las fuerzas nucleares). Pero esta base explicativa resulta inaplicable al *gluon*, portador de la fuerza de color y de masa cero, aunque la fuerza tiene alcance mínimo.

Es posible aplicar este modo de transmisión a fuerzas de corto alcance (nuclear fuerte), pero no parece posible hablar de reabsorción después de un tiempo indefinidamente largo cuando los cuerpos interaccionan a través de distancias que exigen años (incluso millones de años) para cualquier tipo de propagación de efectos físicos aun a la velocidad límite de la luz. En cualquier caso, tampoco es filosóficamente muy claro que el intercambio de una «partícula», real o virtual, tenga como consecuencia el que la localización de dos cuerpos tienda al mismo valor (atracción). Más bien es de esperar, por consideraciones de *conservación del momento lineal*, que tal intercambio conduzca siempre a un mayor distanciamiento (repulsión). Tal vez el mero intercambio sea suficiente para explicar la fuerza nuclear débil, que es sólo transformadora de las partículas afectadas.

Campos de Fuerza

Finalmente, nos queda la posibilidad de transmisión por medio de *campos*. Así se describe en la Relatividad la atracción gravitatoria: una masa causa una *distorsión del espacio* a su alrededor, alterando sus propiedades geométricas y haciendo que las trayectorias de otros cuerpos o rayos de luz sean curvas. Los campos eléctricos y magnéticos aparecen también, aun en observaciones macroscópicas, como un *cambio en las propiedades del espacio* alrededor de las cargas eléctricas que los causan, y este espacio determina el comportamiento de otras cargas que lo penetran.

El campo, en todos los casos mencionados, *contiene energía*, que debe atribuirse al cuerpo considerado como origen del campo. En situaciones estáticas o de movimiento uniforme (equivalente al reposo desde el punto de vista físico, como ya se ha dicho repetidamente) esa «atmósfera energética» se mantiene sin gasto de energía; hay, en cambio, pérdida de energía a expensas de la *energía cinética* en el caso de movimientos

acelerados. La distorsión espacial tiene que reajustarse continuamente y tal reajuste se propaga por el entorno como ondas de gravitación o electromagnéticas, que luego actúan sobre otros cuerpos según las características y limitaciones propias de cada interacción. Las ondas se transmiten con una velocidad *determinada por las propiedades* del entorno (constante dieléctrica, permeabilidad magnética, curvatura espacial).

Si bien la Relatividad es aceptada universalmente como la explicación correcta de la interacción gravitatoria, el deseo de interpretar las otras fuerzas en términos geométricos lleva a postular un espacio de múltiples dimensiones para acomodar distorsiones diversas (hipótesis de Kaluza-Klein). Como solamente tres dimensiones espaciales son verificables experimentalmente, se sugieren otras más de tamaño tan reducido («*compactificadas*») que no son detectables, pero que explicarían todas las fuerzas.

No es posible juzgar adecuadamente tales hipótesis para distinguir su formalismo matemático, posiblemente útil y satisfactorio, de su objetividad como descripción de propiedades *reales* de la materia. Ni ha sido posible, hasta la fecha, el reducir todas las fuerzas a una formulación unitaria: la descripción cuántica es satisfactoria como base para la unificación del electromagnetismo con la fuerza nuclear débil (fuerza «*electrodébil*» de Weinberg y Salam), pero la «*superfuerza*» que incluiría también a la fuerza nuclear fuerte no está aún demostrada. Ni se consigue una «*gravedad cuántica*», cuya posibilidad incluso llega a ponerse en duda. Los dos puntales de la Física moderna, Relatividad y Mecánica Cuántica, siguen sin mostrar la convergencia buscada por los científicos más eminentes durante muchos años.

Una imagen simplista de la atracción como debida a un «hoyo» que deforma al espacio, y la repulsión a una «colina», tropieza con el hecho innegable de que dos partículas con carga eléctrica distinta reaccionan en modo opuesto a la misma distorsión del campo en que penetran. No es posible explicar tal diversidad de comportamiento en términos de deformaciones puramente *estáticas*.

Tal vez una imagen de *vórtices* que giran en sentido opuesto o idéntico serviría como ayuda a nuestro deseo de representar los fenómenos en términos mecánicos, pero es más correcto el aceptar que nuestra imaginación, utilizando solamente la experiencia macroscópica, no es útil para representar lo más íntimo de la materia En cualquier caso, no sirve la imagen para la fuerza nuclear débil, ni parece aplicable a interacciones de alcance ilimitado que supondrían remolinos de tamaño cósmico, ni es fácil representar efectos de múltiples masas sobre un punto concreto.

Especulaciones físico-filosóficas

Volviendo a las hipótesis, mencionadas en temas anteriores, de un espacio y un tiempo *discontinuos*, tendríamos que expresar aun el concepto de «campo» como el resultado de modificaciones mínimas, pero no *arbitrariamente próximas a cero*, de las propiedades del entorno de un cuerpo. En tal caso, la acción de un cuerpo pasa a otro por saltos cuánticos, no a través de un vacío-nada, que no existe, ni por contacto, sino por pasos tan contiguos como pueden darse en un espacio granulado: no hay que salvar distancias de espacio *si no hay espacio intermedio* porque no hay la posibilidad de una entidad localizante intermedia. Tendremos también que aceptar algún tipo de correspondencia entre la *actividad física* del cuerpo en su entorno y en otros cuerpos y las *cargas localizantes* de éstos.

De algún modo los cuerpos se influyen para que las localizaciones tiendan al mismo valor o a valores más diversos, dando lugar a atracciones o repulsiones. El movimiento por un espacio en que las propiedades geométricas son constantes (potencial constante del campo) no exige un gasto energético, como vemos en el caso del movimiento de cargas eléctricas a lo largo de superficies equipotenciales: *el mero cambio de localización no tiene efectos físicos*. Pero el paso de una zona del espacio a otra con diversa distorsión sí conlleva un cambio de energía, bien cinética, bien electromagnética.

Es claro, por todo lo dicho, que ni la Física ni la Filosofía tienen una *explicación unitaria* satisfactoria de cómo se dan las diversas interacciones que determinan la actividad del mundo material y sus transformaciones. Pero debemos insistir en la realidad entitativa del «vacío físico», que se convierte en el medio agente de gran parte, al menos, de dicha actividad. E insistir también en la conexión entre *localización, movimiento y fuerzas*, cuya actividad va acompañada siempre de cambio local y exige tiempos característicos para realizarse.

La tendencia actual de la Física, como veremos al tratar de la estructura de la materia, va hacia un punto de vista que considera a las partículas y los campos como manifestaciones del vacío físico fuertemente deformado (partículas) o con variaciones más graduales (campos). La naturaleza más íntima de este substrato último sería discontinua al nivel de la longitud de Planck. Toda la actividad de la materia aparece así como una serie de distorsiones más o menos intensas y duraderas, que son compartidas por la realidad material en todas sus formas. Como veremos

más adelante, hay que aceptar la convertibilidad mutua entre partículas y energía, que es claramente una indicación de su identidad básica. Así se confirma de nuevo la afirmación de que la materia es esencialmente activo-pasiva, como se arguyó al comenzar este tema.

c) Leyes de la Actividad Material

El tercer punto a discutir trata de las leyes que rigen al actividad material, que no aparece ante nuestra experiencia como arbitraria o caótica, sino dotada de *regularidades* que permiten el estudio científico y la predicción de comportamiento futuro. La ciencia sería imposible de otro modo.

La palabra «*ley*» indica, en general, una *norma* de comportamiento. En su sentido primario, estricto, la ley es una norma impuesta a un sujeto *racional y libre*, al que debe determinar moralmente, no físicamente. De ahí que su efecto no sea predictible, porque la libertad hace posible el seguir la ley o no, con la responsabilidad moral subsiguiente, que no es imputable a sujetos no libres: no se dan leyes a los animales, ni a las plantas o las piedras.

En cambio, *las leyes físicas son descripciones generalizadas del proceder de la materia*, tal como de hecho se observa. Tal proceder, constatado primero por la experiencia vulgar, se confirma con mayor precisión en la observación y experimentación científica, y se formula como «*ley de la naturaleza*» cuando la constancia queda bien atestiguada por un proceso de inducción.

No es propio de esta investigación, sino de la Filosofía de la Ciencia, el discutir las condiciones para una inducción válida. Nos bastará indicar que, tratando de la materia inanimada, estudiamos la realidad desprovista de indicación alguna de espontaneidad o libertad. Por eso esperamos un comportamiento idéntico de cada ser material inanimado, puesto en circunstancias físicamente idénticas. Sobre esta base se puede dar una inducción válida de un número finito de casos, aunque siempre se podría suponer algún factor desconocido que alterase el resultado en un nuevo experimento: no nos dice la ley que un nuevo parámetro no llevará a una modificación de lo que se predice. Pero si *el actuar es consecuencia del ser*, tenemos una base lógica para afirmaciones universales de comportamiento de un ser concreto, siempre que exista en las mismas condiciones.

Toda ley física se basa en medidas que tienen un *margen de error* impuesto por las limitaciones instrumentales. Como consecuencia, las predicciones de estados futuros como consecuencia de la evolución de un

sistema a partir de condiciones iniciales concretas, tiene una doble fuente de posible error: no conocemos exactamente ni esas condiciones iniciales ni la ley que determina sus cambios. En sistemas muy complejos son cada vez menos fiables las predicciones a largo plazo: este es el sentido de la moderna teoría del «*caos*». No es que se niegue un comportamiento regido por leyes, sino que se afirma una sensibilidad tal a las pequeñas variaciones inevitables al especificar las condiciones iniciales que, con el paso del tiempo, el resultado puede variar drásticamente de lo calculable con una confianza ingenua en la exactitud de nuestras medidas. Así se puede afirmar que las órbitas de los planetas calculadas para períodos de muchos millones de años resultan «caóticas»: no podemos estar ciertos de nuestros resultados.

Otra limitación de las leyes físicas concierne su ámbito de aplicabilidad. Si la ley debe basarse en observaciones y experimentos, es claro que será necesario extrapolar sus resultados a situaciones en que la verificación experimental no se ha dado ni puede, tal vez, darse. Por ejemplo, no es posible indagar qué ocurre dentro de un agujero negro, ni podemos estar ciertos acerca del comportamiento de la materia en condiciones de extrema densidad y temperatura como las sugeridas por el «*Big Bang*». Ni siquiera podemos comprobar la ley de la gravedad dentro de un átomo o en cúmulos de galaxias: más bien extrapolamos su validez a este caso, infiriendo la presencia de masa invisible para explicar órbitas que no serían correctas si se debiesen solamente a la masa visible.

Con estas limitaciones, las leyes físicas son *fiables y fuente de conocimiento cierto* acerca de la naturaleza material y su comportamiento. Aun así, es necesario recordar de nuevo que *el conocer no determina al ser*, sino al contrario: nuestra incapacidad, pasajera o fundamental, de predecir exactamente el desarrollo futuro de un sistema físico no nos autoriza a negar la existencia de factores que sean razón suficiente de tal evolución, ni de leyes físicas que la rijan.

Hay tres tipos de leyes utilizadas en la física, que se distinguen por la *base de su constancia* y por su aplicabilidad a *casos concretos* o a *series de casos* de mayor o menor amplitud. Es importante el distinguir cada uno de esos tipos para darle el valor que le corresponde, tanto como base de predicciones como en su carácter informativo sobre lo que es la naturaleza material.

a) El primer tipo de leyes —«*leyes dinámicas*»— afirma procederes fijos y universales de algún tipo de materia basándose en multitud de obser-

vaciones y experimentos que siempre han mostrado el mismo comportamiento, *sin excepciones*. Tales leyes dan lugar a predicciones *ciertas* para nuevos casos concretos. Por ejemplo, la ley de conservación del momento lineal y del momento angular; la ley de conservación de masa-energía, de carga eléctrica neta. Las leyes de comportamiento de la materia macroscópica sometida a la gravedad, a las fuerzas electromagnéticas; las leyes de las reacciones químicas más básicas, las de evolución de sistemas termodinámicos, son también de este tipo. Podemos decir, en general, que toda la ciencia y sus aplicaciones tecnológicas en el mundo *macroscópico* utilizan leyes que no admiten excepción y cuya fiabilidad predictiva es innegable. La base de todas ellas se encuentra en un *conocimiento satisfactorio* de los factores que *influyen* en el proceder de la materia en el sistema considerado.

b) *Leyes probabilísticas*

Cuando este conocimiento no es completo, pero se da un *conocimiento parcial*, o se establecen relaciones con factores que *no influyen* en el resultado, podemos hacer solamente predicciones que no son aplicables a casos concretos, sino a números más o menos amplios de casos. Esto da lugar a «*leyes probabilísticas*», cuyo ejemplo físico más común es la ley que relaciona la temperatura y el volumen de un gas con su presión, atribuyendo ésta a los choques elásticos de billones de moléculas contra las paredes del recipiente. Aunque no podemos seguir a cada partícula en su trayectoria (conocimiento imperfecto) vemos que no hay razón física para esperar una preferencia por movimientos en una dirección determinada (factor que no influye). Si todas las direcciones son igualmente probables, se puede deducir una presión uniforme en todo el gas. Si el número de partículas por unidad de volumen es mayor habrá más choques, y más presión. Lo mismo ocurre si la energía cinética (temperatura) es mayor.

En el caso de un ejemplo más sencillo, no hay *razón física* para que una cara de un dado bien construido caiga hacia abajo con más frecuencia que las otras. Lo mismo puede decirse de las dos caras de una moneda: por eso se afirma la probabilidad de que la mitad de las tiradas salga cara, y la otra mitad cruz. Pero esta predicción no se hace con confianza si el número de tiradas es pequeño *en el contexto del número de posibilidades*: si tiro el dado 12 veces, me sorprenderá mucho que cada cara, del 1 al 6, salga exactamente 2 veces. Será menos sorprendente que obtenga 6 veces cara y 6 cruz, aunque tampoco pondría mucha confianza en una

predicción de tal resultado. Solamente cuando se habla de un número enorme de casos espero que cualquier irregularidad de frecuencia termine diluyéndose en la uniformidad que permite el cálculo de probabilidades.

Las leyes probabilísticas *nunca me dicen qué ocurrirá en un nuevo caso*, por muchos que sean ya conocidos. Independientemente de la constatación de la *historia previa* del sistema, si una moneda ha salido cruz cuatro veces seguidas, todavía tengo igual probabilidad de que salga cara o cruz la quinta tirada.

c) Muy parecidas a las leyes probabilísticas son las «*leyes estadísticas*», y ambos nombres se usan frecuentemente como equivalentes. Más correcto es decir que las leyes estadísticas desconocen o no consideran los factores que determinan los diversos resultados: simplemente, se supone que el proceder constatado durante un tiempo suficientemente largo (*historia*) es base fiable para predecir el comportamiento futuro. Así proceden, por ejemplo, las compañías de seguros al determinar sus primas para accidentes de automóvil, para seguros de vida en cada grupo de edad concreta, etcétera. Una vez más, no es posible predecir lo que ocurre en cada caso individual, pero sí se puede indicar un porcentaje para un número de casos comparable al que sirve de base en los estudios estadísticos del pasado.

En un ejemplo físico, antes de conocer las razones intrínsecas de la desintegración de un núcleo se puede establecer cuál es su vida media, observando cómo decae la actividad de una muestra conocida a lo largo del tiempo. Tal vida media no me permite decir qué átomo va a desintegrarse antes, *ni es aplicable a un número pequeño de átomos*, pero es fiable para calcular el porcentaje remanente después de un tiempo dado en función de esa vida media. Si yo observo, por ejemplo, dos átomos de C14, cuya vida media es de un poco más de 5000 años, puede darse el caso de que uno se desintegre en unos segundos, y otro en un siglo, o que ambos existan sin cambio durante mil años. Solamente en el caso de miles de átomos es de esperar que *la mitad* se desintegren en ese período de tiempo: este es el significado de «vida media».

d) Causalidad - Azar

Mientras que las leyes dinámicas no presentan ningún problema filosófico, se arguye que el comportamiento probabilístico o estadístico en el campo de la microfísica es una indicación de que allí no rige la causalidad, sino el *azar*. Esta palabra no describe ninguna *realidad de orden físico*, sino meramente la *ausencia de correlación* entre fenómenos o parámetros: no hay conexión demostrable entre mi selección de un átomo para observarlo y los procesos que pueden llevar a que se desintegre antes o después.

Lo mismo ocurre en el mundo macroscópico: no hay correlación entre el que yo observe un espacio determinado en el cristal de una ventana y el que una gota de lluvia caiga en él. Pero la gota cae siguiendo una trayectoria impuesta por leyes mecánicas perfectamente deterministas, aunque yo no pueda, en la práctica, conocer los factores que influyen en su caída con precisión suficiente para predecir el punto de su impacto. El azar es más una función de mi ignorancia que de las cosas en sí, o el resultado de querer *establecer relaciones entre sucesos no relacionados* física o lógicamente: mi observación y un hecho del mundo material.

El *Principio de Incertidumbre* de Heisenberg se formuló originalmente con referencia a nuestra incapacidad de conocer *al mismo tiempo y exactamente* los *parámetros conjugados* de la naturaleza: posición y momento lineal, energía y duración de un proceso. Pero se convierte en una afirmación de falta objetiva de causalidad y determinación a nivel microscópico cuando se enuncia como *Principio de Indeterminación*: no puedo predecir qué ocurrirá porque *la materia no tiene un proceder fijo*, regido por una ley determinística.

La falta de cognoscibilidad podía atribuirse a la perturbación que todo experimento causa en el sistema observado; la forma posterior afirma una variabilidad objetiva «*sin causa*», que imposibilita la predicción *independientemente de perturbación alguna*. Una vez negada la causalidad en el ámbito de la microfísica, se puede dar el paso a afirmar lo mismo del mundo macrofísico, por ser los fenómenos de éste un mero resultado de un gran número de factores microfísicos. Por tanto, sólo una ley probabilística puede aceptarse para cualquier predicción científica. La base de la predicción es la «*ecuación de onda*», interpretada probabilísticamente (interpretación de Copenhague) para obtener valores ciertos de probabilidad para cada resultado posible.

En un intento de salvar la total objetividad científica de esta interpretación probabilística, se llega a afirmar que todos los resultados posibles *de hecho ocurren en múltiples universos*, que se ramifican del universo observable para acomodar los resultados no constatables: si al lanzar un dado obtengo en número concreto, los otros cinco números deben ocurrir en cinco universos no observables (universos múltiples de Everett). El hecho que produce tal desdoblamiento de la realidad es el «*colapso de la onda*» causado por la observación: mientras no se observa, el sistema no tiene ningún valor real. El experimento ideal del «*gato de Schroedinger*» lleva a decir que un sistema macroscópico —el gato— no está ni vivo ni muerto mientras no se observa, pues su estado depende de un fenómeno aleatorio microscópico (la desintegración de un átomo radioactivo).

Tomada en su formulación más fuerte, la negación de causalidad *mina los mismos fundamentos del trabajo científico*, que siempre intenta determinar las causas de los fenómenos observados, hasta el punto de postular nuevas propiedades de la materia como razón suficiente para comportamientos no explicados por propiedades ya aceptadas. Más aún: se afirma un desarrollo *determinístico* de la ecuación de onda, que permite calcular exactamente las probabilidades de cada posible resultado. *Tal regularidad exige una causa* en el sistema en sí, pues *el azar no explica la constancia ni la certeza*: sólo una causa actuando de un modo fijo puede dar lugar a un comportamiento *constante*, a cualquier nivel que éste se observe. Incluso es lógico volver el argumento de la relación entre lo macroscópico y lo microscópico para argüir que las leyes dinámicas en el mundo de lo grande, bien comprobadas, exigen un comportamiento fijo en el mundo de lo pequeño.

Debemos también considerar que la única razón suficiente para negar un proceder fijo y constante de la materia, a cualquier nivel, sería el postular algún tipo de «*libre albedrío*» o espontaneidad quasi-vital para la materia noviviente. Esto es totalmente arbitrario y sin base alguna experimental o teórica.

Igualmente arbitrario y sin base es afirmar la multiplicidad de resultados en universos inobservables: no es proceder científico el apelar a lo que cae *fuera de la comprobación experimental*, aun en principio. Ni es más satisfactorio el recurrir a la observación para determinar la realidad: el trabajo científico *descubre la realidad, no la crea*. Esto es aún más claro cuando hoy observamos los resultados de procesos ocurridos en un pasado lejano: no hay razón alguna aceptable para admitir una acción retroactiva por la que

nuestra observación actual determine lo que ocurrió, por ejemplo, en los comienzos del universo.

La imposibilidad de predecir exactamente el comportamiento de partículas está correctamente fundada en nuestra incapacidad de observarlas sin introducir una perturbación en las condiciones iniciales de que parte la predicción. Objetivamente, es plausible también el afirmar que *si toda materia está necesariamente en movimiento*, tales condiciones iniciales son inobservables con la exactitud arbitrariamente fina que sería necesaria para predecir en detalle el comportamiento futuro de cualquier sistema microscópico. *Pero la incapacidad de predecir no prueba la falta de determinación intrínseca.*

VII
CONSTITUCIÓN DE LA MATERIA

El mundo que nos rodea muestra una enorme variedad en sus formas y en sus propiedades, dentro de una cierta uniformidad que se muestra también en las interacciones que diversos cuerpos tienen entre sí. Todos los seres materiales tiene algo en común, y sin embargo, hay grandes diferencias. El deseo de comprender a la naturaleza lleva espontáneamente al esfuerzo de reducir la variedad observada a un número lo más reducido posible de elementos diversos: sin una síntesis, más o menos amplia, no es posible hacer ciencia ni filosofía. Nos es necesario, por lo tanto, intentar llegar lo más profundamente posible a la misma esencia de la materia, para descubrir qué ES por debajo de todas sus manifestaciones tan variadas, y así encontrar el fondo de unidad bajo su asombrosa multiplicidad.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA

La constitución de la materia debe estudiarse, primeramente, en términos físicos. ¿Es posible encontrar un tipo de cuerpo sencillo —«*elemento*»— que sea el componente universal de toda la materia, cambiando solamente en sus propiedades accidentales como resultado de variaciones en densidad, temperatura, etc.? Los antiguos filósofos, desconociendo los detalles de la materia, buscaban este elemento básico en el *agua* (Tales de Mileto) o en el *aire* (Anaximeno) o en el *fuego* (Heráclito). Como ejemplo de su razonamiento, se juzgaba que todos los líquidos son, básicamente, agua más o menos condensada. El agua se evapora, dando lugar a los gases, que son semejantes entre sí. Y al formar hielo, el agua

parece convertirse en cristal de roca (el hielo en griego se llamaba «*crystallos*»), del cual se obtiene arena y diversos tipos de materiales sólidos.

Anaximandro, más especulativamente, propuso como el constitutivo último de la materia un algo indefinido —«*apeiron*»—, no identificable con ninguna sustancia conocida. Una vez más, por condensaciones y rarefacciones y cambios de temperatura este elemento único daría lugar a la multiplicidad de seres materiales que observamos.

A mediados del siglo V a.C. Empédocles propuso cuatro elementos básicos, de cuyas combinaciones sería posible obtener toda la realidad material: *agua, aire, tierra y fuego* primordiales, no identificados exactamente con las realidades de ese nombre en la vida diaria. Platón y Aristóteles aceptaron esta idea, con variaciones propias de cada uno: Platón atribuía diversas formas geométricas a cada elemento, y suponía que se podían transformar unos en otros, dando así pie al desarrollo posterior de la alquimia (que buscaba, por ejemplo, cambiar metales comunes en oro mediante la alteración de sus proporciones de fuego).

Mientras estas hipótesis manejaban los conceptos de elementos de materia continua e indefinidamente divisible, también en el s.V a.C aparece la primera teoría de composición basada en unidades indivisibles —«*átomos*»— de varias sustancias esencialmente comunes, pero de diferente tamaño y forma. El número de formas posibles podría ser infinito (Demócrito y Leucipo) o finito (Epicuro, s.IV a.C.). Los átomos serían duros e impenetrables, chocando entre sí en un continuo movimiento dentro de un vacío que era un no-Ser, pero que era tan real como el Ser.

Estas ideas, puramente especulativas y sin el apoyo de una metodología experimental, no condujeron a un desarrollo verdaderamente científico que podamos identificar como Física en el sentido moderno: era demasiado ambicioso para aquella época el deseo de comprender de un golpe toda la estructura de la materia. Pero tuvieron consecuencias sobre todo para la Química hasta casi la época moderna, por ser el punto de partida de gran cantidad de experimentos semi-mágicos que, sin conseguir ninguno de los fines buscados (*elixir de la vida*, *piedra filosofal*), llevaron a aislar e identificar varios de los elementos de nuestro Sistema Periódico, así como reactivos ácidos y básicos.

TEORÍA HILEMÓRFICA

Correspondiendo a estas hipótesis físicas, existían también sugerencias de orden filosófico, encaminadas a explicar la *transformación* de unas sustancias en otras. El concepto común de *cambio* exigía una cierta permanencia a través de la alteración, para que el cambio no fuese una simple destrucción total, seguida de la creación de algo nuevo. Pero no habría cambio real si no dejase de ser algo de lo que era y comenzase a ser algo que no era. Así llegamos a la idea de una «*materia prima*», común a todos los seres materiales y que se mantiene a través de todas sus transformaciones, y una «*forma sustancial*» que se pierde en cada cambio para ser sustituida por otra correspondiente al nuevo ser.

Los nombres sugieren la comparación con el trabajo de un alfarero: el barro es la materia prima común a todas sus obras, pero cada una es especificada por la forma que se da a ese barro, y es posible cambiar de objeto con sólo el cambio de forma. En este ejemplo, se trata de «*forma accidental*», que no afecta las propiedades básicas del barro; en la teoría del cambio sustancial, la forma es la fuente de las propiedades que *determinan la identidad* de una nueva sustancia. Podría decirse que la materia es MATERIA por tener materia prima, fuente de su extensión y otras propiedades no-específicas; es TAL materia por la forma sustancial, puramente activa y razón de actividad.

Unida a la materia prima se consideraba la propiedad de «*cantidad*», manifestada en la extensión, pero no totalmente idéntica a ella. En términos de continuidad estructural, parecía inexplicable que dos trozos de plata, por ejemplo, tuviesen las mismas propiedades (la misma esencia), pero diverso peso y tamaño, o que se diesen expansiones y contracciones del mismo trozo por cambios de temperatura. Para explicar tales cambios, que no afectaban ni a la materia prima ni a la forma sustancial, se proponía la existencia real de una propiedad accidental de la que dependían esos aspectos medibles cuantitativamente (la «*cantidad*»), mediante la cual era también posible que el cuerpo tuviese *cualidades sensibles*: color, forma, etc.

Esta teoría filosófica se formuló bajo el nombre de *Hilemorfismo*, de las raíces griegas «*hule*» (materia-madera) y «*morfé*» (forma). Parecía útil especialmente para explicar transformaciones drásticas como la de un trozo de madera en ceniza y humo al quemarse, o la de una materia no-viviente en parte de un ser viviente en el caso de los alimentos. En todo ello se veía un cambio de propiedades que parecía inexplicable en térmi-

nos del número y posición estructural de ingredientes ya existentes, especialmente cuando era necesario dar una razón del nuevo modo de existir propio de la materia viviente.

La interacción física que producía el cambio debía destruir la «forma» previa, y producir la nueva forma «extrayéndola» de la capacidad o *potencia* de la materia prima: algo definido como pura actividad tenía que obtenerse de una realidad totalmente pasiva. Ni la materia prima ni la forma sustancial podían tener propiedad alguna de por sí, ni existencia independiente: solamente en su unión se daba un ser real, verdadera materia con propiedades y actividades que la identificaban como un ser concreto. A esta entidad resultante y existente en el mundo observable se la denominaba «*materia segunda*», especificada por su *forma*, pero capaz de transformaciones no sólo accidentales, sino esenciales. Con la terminología científica actual, se podría hablar de una ley de *conservación de la materia prima* a través de todas las vicisitudes de la actividad material, mientras las formas se destruyen y se renuevan.

Es posible pensar que esta teoría es de orden abstracto y casi simbólico, y que se refiere a diversos modos de considerar aspectos parciales de la realidad. Sin embargo sus proponentes filosóficos (y más tarde también teológicos) han insistido en afirmar que representa una *composición real, entitativa,* de todo ser material en su nivel más profundo.

DESARROLLO CIENTÍFICO

La teoría de los cuatro elementos y de la composición de materia y forma se mantuvo, prácticamente sin alternativa, hasta el desarrollo de la Química a partir del s. XVII. Las leyes de combinaciones químicas en proporciones constantes o múltiples llevaron a un revivir de la teoría atómica: cada cuerpo simple (elemento químico) podía sólo dividirse hasta un tamaño mínimo, que era la última unidad de actividad en las reacciones. Unido esto a la identificación del calor con la energía cinética de las partículas de un cuerpo (gas, líquido o sólido), se pudo interpretar la contracción o expansión producida por cambios de temperatura con el resultado de menor o mayor agitación de esas partículas y el efecto de sus choques. No era preciso recurrir a una «cantidad» distinta de la esencia de los cuerpos o de su movimiento.

Con el desarrollo de la Física, identificando la carga eléctrica y la masa propia de cada átomo, se hizo posible también predecir las propiedades

de los compuestos a partir de los componentes (como en el caso de la combustión), e incluso prever la existencia y propiedades de nuevos elementos desconocidos y luego encontrados experimentalmente.

Así llegamos, en un recorrido que sólo puede apreciarse correctamente en un curso sobre Historia de la Ciencia, a lo que hoy se presenta como la estructura de la materia a diversos niveles:

— Todas las reacciones químicas (incluyendo las biológicas) se deben a interacciones entre 92 cuerpos «*simples*», los elementos del Sistema Periódico ya formulado en el s. XIX. Cada uno de éstos cuerpos está compuesto de *átomos,* que son las unidades mínimas con las propiedades características de cada elemento.
— Los átomos difieren entre sí por su masa y por el número de cargas eléctricas. Este número está relacionado con su actividad química.
— A partir de los experimentos de Rutherford, a principios del siglo XX, sabemos que las cargas positivas de cada átomo (*protones*) se encuentran en un volumen muy reducido, el núcleo, que contiene también casi toda la masa del átomo. Las cargas negativas (*electrones*) están distribuidas por un volumen un billón de veces mayor, y apenas contribuyen a la masa. El átomo es casi totalmente espacio vacío. Los electrones periféricos son los que tienen las funciones de formar moléculas o enlaces químicos por atracción electromagnética.
— Cada elemento es lo que es por el número de cargas positivas en el núcleo, pero hay también partículas pesadas sin carga (*neutrones*) que contribuyen a su estabilidad y modifican ligeramente sus propiedades, dando lugar a «*isótopos*» de muchos elementos al variar el número de neutrones.
— Es posible transformar a un elemento en otro mediante procesos, naturales o artificiales, que dan lugar a un cambio en el número de protones del núcleo. Se da un *transmutación nuclear* en ese caso, semejante a la buscada por la alquimia de siglos anteriores.
— Todas las propiedades de la materia de nuestra experiencia son explicables en términos de *número y estructuración* de conjuntos de átomos o de las partículas que los forman. Todos los cambios de propiedades son igualmente explicables en esos términos. Incluso en los seres vivientes, cada *átomo* sigue comportándose física y químicamente, de manera *idéntica* a como lo hacía antes de ser parte del ser vivo.

A esta descripción, aplicable a los seres materiales en su estado normal, debemos añadir las indicaciones de estructuras y propiedades

que solamente se manifiestan en condiciones peculiares, especialmente en choques de alta energía, bien producidos naturalmente (*rayos cósmicos*) o en el laboratorio. En esos casos se encuentran numerosas partículas nuevas, que no forman parte de la materia como constitutivos normales, y que tienen una existencia muy efímera. Cientos de tales partículas están clasificadas en tres familias principales: *bariones*, *mesones* y *leptones*. El trabajo más importante de la física en los últimos 50 años ha sido el de reducir tal multiplicidad a un esquema que permita encontrar orden y, tal vez, unidad en tantos componentes aparentemente «inútiles» de la realidad material. Como decíamos al comenzar este tema, la ciencia exige simplicidad en sus explicaciones.

Durante los últimos años se ha llegado a una teoría que permite explicar todas las partículas elementales como agrupadas en *leptones* (electrones y neutrinos, en tres «*generaciones*») y «*quarks*» (también en tres generaciones). Los quarks son indetectables directamente, y componen los bariones y mesones que responden a la interacción nuclear fuerte. Existen en tres tipos distintos (tres «*colores*») para cada una de dos variedades posibles en cada generación («*sabores*»). En total, 18 quarks y 6 leptones son los constitutivos de la materia, más otro número igual para la «*antimateria*'. Todavía deben añadirse las partículas portadoras de campos, especialmente el fotón y el gluón, no formadas por las anteriores, y posiblemente el gravitón, nunca detectado todavía.

Es claro que la explicación de la estructura material dista mucho todavía de la sencillez que intuitivamente deseamos. Se han propuesto otros esquemas de unificación de partículas en términos de otras más básicas («*rishones*», en dos variedades o tres, «*supercuerdas*»), pero no es posible saber cuál de estas hipótesis llegará a dar fruto en forma experimentalmente verificable.

Lo que sí podemos afirmar, como trasfondo de toda la variedad descrita, es que todas las partículas tienen en común el ser *totalmente transformables en energía*, y el poder sintetizarse a partir, por ejemplo, de la energía cinética de un choque. Esta propiedad nos indica la *unidad básica de toda la materia*, entendida en el sentido ya explicado de «todo aquello que muestra alguna interacción por alguna de las cuatro fuerzas de la física».

PROBLEMÁTICA FILOSÓFICA

Con esta base de datos de las ciencias actuales podemos ya formular las preguntas metafísicas que recogen, en parte, las preocupaciones de los filósofos primitivos, presentes todavía en los problemas de nuestro tiempo. Reduciremos a tres las formulaciones que nacen del tema:

a) *¿Hay diferencias esenciales entre los diversos cuerpos de la naturaleza noviviente?*
b) Los elementos más básicos de la materia *¿tienen una naturaleza ontológicamente simple o compuesta?*
c) *¿Qué significa para la comprensión de la materia la equivalencia de masa y energía?*

Finalmente, por su relación con lo anterior, tanto histórica como conceptualmente:

d) *¿Es la materia indefinidamente divisible (continua) o hay que aceptar componentes últimos indivisibles?*

En todos estos problemas debemos distinguir cuidadosamente lo que se puede considerar demostrado, experimentalmente o por deducción lógica, de lo que es plausible o simplemente posible, pero no demostrado o necesario.

a) Diferencias Esenciales

Una diferencia, entre varias realidades que comparamos, puede ser esencial o accidental. En nuestro contexto, llamaremos *accidentales* aquellas diferencias que pueden explicarse adecuadamente por un cambio en el número o disposición estructural de componentes del cuerpo. Si tal explicación es claramente insuficiente, deberemos aceptar que se da una diferencia esencial, y que ningún cambio en el número o posición de partículas, por ejemplo, dará lugar a que se transforme un tipo de materia en el otro que consideramos. De encontrarse cambios esenciales en el mundo físico, su explicación exigiría postular que la materia es esencialmente compuesta.

Cambios químicos solían considerarse esenciales: cuando el Cloro (gas corrosivo) y el Sodio (metal, conductor de la electricidad) se combinan para formar sal común (sólido cristalino, transparente, no conductor, soluble en el agua) da la impresión de que algo totalmente nuevo ha

comenzado a existir, con propiedades incluso opuestas a las de sus componentes, y que no podrían atribuirse a simple reestructuración de las partículas originales, o a un cambio en su número. Sin embargo, hoy se explican todos los cambios como debidos a la interacción de los átomos en la molécula de cloruro sódico. Los átomos mismos permanecen inalterados, siendo capaces de las reacciones nucleares o radioactividad que les son propias.

Esto es también verdad en el caso de incorporación de una sustancia a un organismo vivo: los átomos pueden seguirse en sus funciones dentro de cada órgano por sus propiedades que aún muestran, lo mismo que antes de ser asimilados. No hay, por tanto, razón alguna para afirmar que ocurren cambios sustanciales en estos casos.

Si la química, aun biológica, no da base para una composición hilemórfica que se propone para explicar cambios esenciales, tampoco tenemos que invocar tal teoría para transformaciones nucleares: un elemento se transforma en otro solamente por cambiar el número de protones en su núcleo, y sus nuevas propiedades pueden predecirse como consecuencia de la nueva distribución de cargas electrónicas a que el número atómico da lugar.

A nivel subatómico son también consecuencia de la nueva estructuración de quarks los cambios protón-neutrón y viceversa. Sin embargo debemos aceptar la transformación de un tipo de quark en otro por la interacción nuclear débil; en tal caso, no conocemos ninguna estructura más básica que permita de nuevo atribuir el cambio a reorganización de número o disposición de partículas más elementales. Lo mismo habría que decir si los quarks y leptones son mutuamente transformables: aunque se han propuesto pre-quarks u otros elementos más básicos para todas las partículas, no hay nada aceptado generalmente ni, menos aún, apoyado por datos experimentales.

b) Naturaleza Simple o Compuesta

Hemos visto que los argumentos para la composición esencial de la materia, en términos de un elemento permanente (materia prima) y otro cambiante (forma sustancial), no son válidos a la luz de la ciencia moderna aplicada al caso de los cambios químicos, biológicos o nucleares. Solamente en el caso de la transformación de partículas nos encontrábamos con algo distinto.

Todavía es indicación de una identidad básica el hecho de que todas las partículas conocidas pueden obtenerse de pura energía y son todas también transformables en ella (*rayos gamma*). Como no parece aplicable a la pura energía la composición hilemórfica, al menos en su forma tradicional, no puede exigirse lógicamente que posean tal composición las realidades materiales (partículas de cualquier tipo) que se transforman en ella.

Las razones de orden puramente filosófico para afirmar la composición real de toda materia son de dos tipos: la necesidad de dos principios distintos (*acto y potencia*) como raíces de la actividad y pasividad, y la exigencia de algún tipo de dualidad para que la esencia, de por sí ilimitada, se encuentre realizada en diversos individuos de la misma naturaleza específica. Veamos su fuerza probativa dentro de la argumentación filosófica.

En el orden conceptual, es verdad que se distinguen actividad y pasividad como dos categorías opuestas, pero esto no prueba necesariamente una composición real. Es posible hablar de capacidades activas y pasivas del espíritu humano, por ejemplo, sin deducir de su existencia que el espíritu es también compuesto. Tal vez sea suficiente afirmar que todo lo que es finito es susceptible de cambio, de algún tipo de «crecimiento», que es un aspecto pasivo, mientras tiene también actividad propia. Naturalmente, esto sería aplicable a toda materia, simple o compuesta.

El argumento tomado de la «*individualización*» de la esencia en muchos seres de la misma especie tampoco es convincente como prueba de composición *real*, aunque, una vez más, nos encontremos con dos conceptos que se combinan en abstracto. Tan difícil es explicar la multiplicidad de seres idénticos (por ejemplo, electrones) si son compuestos como si son simples: las partes de que se compondrían son también idénticas, y lo es su unión y el resultado de ella.

Por todo lo dicho *no es demostrable* la composición real de los seres materiales a ningún nivel. Como la teoría que propone tal estructura no está exenta de dificultades muy serias desde el punto de vista filosófico, la presentamos solamente como un intento de gran interés e influjo histórico, pero que no nos dice nada verdaderamente nuevo acerca de la materia.

c) Equivalencia Masa-Energía

En el concepto tradicional de materia se distinguía entre sus propiedades esenciales (masa, fuerzas) y las propiedades accidentales como son la temperatura, energía cinética o potencial, etc. Estas se podrían variar más o menos arbitrariamente sin que la materia dejase de ser lo que era. Así se establecía una diferencia insalvable entre «*partículas*» (impenetrables, dotadas de masa y fuente de fuerzas diversas), y *energía*, que siempre debía ser una *propiedad* de tales partículas y no tendría entidad propia.

En la física moderna hay que admitir la dualidad onda-corpúsculo a todos los niveles del mundo microscópico, desde los electrones hasta los átomos. Ya hemos mencionado en un tema anterior el fenómeno de difracción e interferencia de partículas, solamente explicable por su carácter de onda capaz de seguir dos trayectorias simultáneamente, de un modo semejante a como lo hace una perturbación electromagnética del vacío (luz). Por otra parte, un fotón de suficiente energía puede arrancar electrones de un átomo en un choque partícula-partícula, inexplicable en términos de ondas. No es posible distinguir entre ambas realidades de una forma tajante: según el experimento que se proponga, se observará uno u otro aspecto.

Einstein llevó esta dualidad a su extremo lógico afirmando que pares de partícula y antipartícula se convierten totalmente en energía al encontrarse, mientras que un rayo gamma de suficiente energía da lugar espontáneamente a la aparición del par de partículas correspondiente. Tal convertibilidad mutua arguye contra el carácter «accidental» de la energía: un accidente no puede convertirse en una sustancia, ni viceversa. No es simplemente la conversión de la «*masa*», que se define operativamente como un aspecto medible de la materia (*masa = fuerza/aceleración*), en otra propiedad semejante (energía cinética o calor), sino la «*materialización*» del fotón o el fenómeno opuesto, como hemos dicho. Hay una identidad básica en todas las manifestaciones de la materia; incluso la gravedad actúa por igual sobre partículas y energía.

Ante estos datos de la ciencia actual, parece necesario rehacer nuestra imagen del mundo físico, que se aleja más y más de nuestras intuiciones basadas en la experiencia macroscópica vulgar. Como sugeríamos al hablar de la actividad de la materia, parece que hay un substrato último que se nos manifiesta, ya como partículas, ya como ondas o campos de energía. Tal sería el «vacío físico», capaz de distorsiones varias y de mayor o menor actividad, concentrada o difusa.

En las teorías modernas de estructura subatómica se afirma la actividad incesante de este vacío, donde pares de partículas y antipartículas estarían constantemente formándose y destruyéndose al nivel de las dimensiones de Planck, con duraciones también del orden del tiempo mínimo de Planck. La interacción del vacío así descrito se invoca como razón de un pequeño cambio en los niveles de energía del átomo de hidrógeno comparados con los que predice la simple interacción electromagnética del núcleo y el electrón (efecto Lamb).

También es coherente con este punto de vista la constatación de que los electrones no tienen «individualidad» propia: son *indistinguibles*, y los cálculos de niveles de energía en sistemas de varios electrones deben tratarlos como tales para predecir los valores observados experimentalmente. Se podría utilizar una comparación sencilla con remolinos u ondas en el agua del océano: no parece posible decir que una ola es otra y no la misma, si comporta el mismo movimiento de las mismas moléculas de agua. La distinción entre partículas y ondas, entre partículas y energía, pierde también su fuerza en esta concepción.

Podría pensarse que estamos introduciendo, sin pretenderlo, una composición hilemórfica más universal y profunda que la ya rechazada, con el vacío físico en el papel de «materia prima», y sus distorsiones actuando como «forma sustancial», capaz de producir toda la variedad observada en la materia aunque su constitutivo último sea único. No hay dificultad en conceder una cierta semejanza entre ambas explicaciones, pero las diferencias filosóficas son más importantes que su parecido superficial: el vacío físico ES una realidad material existente, capaz de actividad y pasividad. No es el «ser incompleto», sin existencia propia, mera pasividad, que se proponía como la materia prima del hilemorfismo.

Más bien debería describirse como la «materia segunda» del alfarero, el «barro primordial» del que se forma toda la materia observable, no por cambios sustanciales sino meramente accidentales. Al hablar así, tenemos un único componente físico de toda la realidad material, conocido no directamente en sí mismo, sino en sus variaciones locales, de un modo análogo a como conocemos por nuestro oído las variaciones de presión del aire, pero no la presión atmosférica constante.

Sin duda alguna nos queda mucho por descubrir para entender la materia en los simples términos soñados por los filósofos griegos de hace muchos siglos. El campo más activo de la física de hoy se encuentra precisamente en esta búsqueda de unidad en la multiplicidad, intentando

reducir a una formulación unitaria todas las interacciones, y buscando algún esquema que permita ver a todas las partículas «elementales» como resultado de una o dos entidades verdaderamente últimas. No es posible predecir ni cuándo ni cómo llegará a su fin este esfuerzo. Se han propuesto nuevos laboratorios gigantes para alcanzar energías cada vez mayores, que tal vez permitan encontrar estructura en los quarks y leptones como antes se encontró en el átomo y el protón, pero el esfuerzo económico y científico se agiganta, posiblemente más allá de lo que hoy parece factible sin tener pistas seguras para el trabajo.

d) Divisibilidad de la Materia

Tal vez la pregunta más discutida, al hablar de la estructura de la materia, sea la de su posible continuidad o discontinuidad básica. Ya hemos visto que desde la antigüedad se encuentran ambas opiniones: Aristóteles y sus seguidores hasta nuestros días defendiendo la continuidad, con su consecuencia de divisibilidad indefinida, y los atomistas sosteniendo la discontinuidad, con últimas partículas indivisibles, a pesar de tener forma y tamaño que hace posible distinguir los diversos elementos.

No es problema el afirmar la indivisibilidad por razones de «dureza» o por necesitarse una cantidad mínima de materia para que pueda existir de hecho y tener la actividad propia de ella: tales razones son plausibles, y pueden admitirse al mismo tiempo que se afirma que esas partículas indivisibles son *extensas*. La indivisibilidad discutida generalmente es la que se basa *solamente* en el aspecto *espacial:* mientras algo tenga algún tamaño, será posible considerar que en ello se dan tamaños parciales. Por eso es preferible enunciar la pregunta de esta sección de forma más explícita: *¿es posible siempre designar dimensiones menores en cualquier partícula elemental?* Si se responde afirmativamente, se sostiene que la materia es siempre continua; si se niega, se considera a la materia como básicamente discontinua, compuesta de unidades inextensas.

Ya hemos visto, en el tema correspondiente al espacio, que la idea de extensión se explica como el resultado de una extraposición de partes, cuya razón hemos encontrado de forma lógica en la «carga localizante» distinta para cada una de las partes del objeto extenso. Es una aplicación del análisis llevado a cabo sobre la idea de lugar y de distancia como debida a esa diversidad de lugar, real y objetiva.

Usando estos conceptos, es obvio que una realidad extensa es *divisible*, en el sentido propuesto, *si tiene diversas localizaciones para sus partes*. Cualquier división, real o meramente designativa, implica una *menor diferencia* de localización en las partes que en el todo. Mientras haya una diferente carga localizante en los extremos, será posible hablar de divisibilidad. Solamente cuando toda la realidad material considerada tenga una *localización única*, siendo inextensa, pierde sentido el afirmar que en ella pueden aún designarse partes menores.

Si la carga localizante se considera discreta, en el mismo sentido que lo es la carga eléctrica, en cada cuerpo extenso habrá un número *finito* de tales cargas. Cuando el proceso de división alcance una fracción del cuerpo en que solamente hay dos cargas localizantes, la divisibilidad queda restringida a la separación de tales cargas (unidas a las dos últimas partes reales). No es posible hablar de una divisibilidad indefinida sin postular un número inagotable (infinito) de cargas localizantes en cualquier trozo de materia, por pequeño que sea. Tal multitud infinita lleva a verdaderos absurdos lógicos: o hay infinitos mayores que otros, o todos los cuerpos tienen el mismo número de cargas localizantes, y, como consecuencia, la misma extensión y dimensiones. Podría argüirse también que una multitud infinita de localizaciones diversas corresponde a tamaño infinito, y a exigir que todos los cuerpos estén compenetrados, al ocupar todos el mismo volumen infinito.

Suele afirmarse que tales consecuencias ilógicas contra una multitud infinita de partes no son aplicables a partes «*posibles*», pero no realizadas de hecho como tales partes, y se aduce el ejemplo de la serie infinita de fracciones de razón 1/2 cuya suma tiende a la unidad. Pero en el caso que describimos las partes, para ser tales desde el punto de vista de la extensión, necesitan tener cada una un «*algo*» real, distinto, previo a toda designación o división, que es lo que llamamos «carga localizante». Las partes son posibles como tales solamente si tienen ya, de hecho, *cargas localizantes distintas*. Como consecuencia, una multitud infinita de partes posibles exige una multitud infinita de cargas localizantes reales, ya presentes en el cuerpo extenso, y las objeciones indicadas siguen siendo válidas.

Si se considera la carga localizante como de carácter *intensivo*, como la temperatura, parece que sería posible considerar su divisibilidad indefinida, de modo que varíe de un punto a otro de una manera continua, pero sin que sus fracciones lleguen nunca a ser mínimos de valor absoluto. Aun así, es claro que cada punto tiene una localización diversa del

contiguo *por una diferencia real*, por mínima que sea, y la infinitud de puntos contiguos nos lleva otra vez a los absurdos antes indicados. Ni es satisfactorio afirmar que la diferencia es «*infinitamente pequeña*», y que la suma de infinitos infinitesimales es finita: aun concediendo el paso de la abstracción matemática a la realidad, si la diferencia es verdaderamente infinitesimal, no puede ser todavía menor, y llegamos una vez más a algo ya indivisible, aun conceptualmente.

Hemos indicado previamente que la ciencia actual sugiere mínimos de espacio y e tiempo, en una estructura material últimamente discontinua. Pero se podría decir que tales mínimos todavía tienen un valor no-cero, y permiten asignar valores menores, aunque no se encuentren realidades ni procesos que no exijan, por lo menos, esas magnitudes de Planck. No es el tamaño de Planck una prueba de que la extensión misma se basa en lo inextenso ni tampoco en la continuidad.

Podemos, en cambio, aceptar como una indicación de la estructura discontinua de la materia los datos y cálculos que consideran al electrón y otros leptones como carentes de diámetro real. Experimentos de choques a muy alta energía exigen el tratar a tales partículas como puntiformes para obtener resultados de acuerdo con lo observado. Las partículas compuestas de quarks sí muestran un diámetro no-cero, pero sus elementos internos podrían ser también inextensos.

DIFICULTADES - CONSECUENCIAS

Queda ya subrayada en varias ocasiones la falta de una síntesis satisfactoria entre Relatividad y Mecánica Cuántica, entre partículas y ondas, entre campos continuos y saltos discontinuos de energía. Tal vez una estructura granular, incluso del vacío físico, sea lo más acorde con la ciencia actual, al mismo tiempo que satisface los argumentos filosóficos que se han expuesto en favor de la divisibilidad limitada.

Como última consideración sobre el problema, puede utilizarse el concepto de discontinuidad para insistir en que las figuras y operaciones matemáticas son abstracciones de la realidad, y no tienen que aplicarse exactamente a ella. Por ejemplo, la hipótesis de una esfera perfecta y continua, descansando sobre un plano igualmente perfecto y continuo, lleva a predecir una presión infinita en el punto de contacto, por tener éste un área cero. Al no darse realmente esferas ni planos perfectos, la situación no presentará dificultades reales: además de que toda estruc-

tura material es discontinua, se dan fuerzas de repulsión que no actúan solamente sobre el punto de contacto, y la presión se ejerce sobre un área finita. Razonamientos semejantes permiten también solucionar dificultades geométricas propuestas contra la discontinuidad real: ejemplos conocidos son el que dos círculos concéntricos tendrían el mismo número de puntos reales, o que la diagonal de un cuadrado sería igual a su lado. La Geometría trata de abstracciones y conceptos que no tienen por qué verificarse exactamente en la materia.

¿Qué ES la materia, visto todo lo anterior? Podemos solamente describirla a diversos niveles de estructura y de actividad, utilizando esta misma actividad para definirla, como se indicó en el tema anterior. Ni masa ni extensión parecen ser necesarias para tener partículas reales; tampoco podemos insistir en una posición determinada ni única en el espacio, como nos indican los datos experimentales acerca de la interferencia de electrones y el efecto túnel. Tampoco es posible exigir la impenetrabilidad, tan obvia como característica macroscópica. No solamente es la materia ordinaria una nube tenue de partículas separadas por grandes espacios vacíos, sino que en algunas situaciones descritas en la Astrofísica nos vemos obligados a aceptar que se dan densidades de hasta mil millones de toneladas por centímetro cúbico, equivalentes a encerrar la masa de medio millón de Tierras en un radio de 10 kms.

Ni es éste el límite absoluto: en el colapso total que da lugar a un «*agujero negro*», cualquier cantidad de materia desaparece del mundo observable para contraerse, teóricamente, sin límite, hacia radio cero. En tales circunstancias, se dice que la materia desaparecida queda fuera del espacio y del tiempo, sin más actividad pensable que el causar la distorsión espacial que identificamos con su campo gravitatorio. Ningún observador ni instrumento puede introducirse en el volumen marcado por el radio de Schwarzschild para decirnos qué ocurre tras ese «*horizonte de sucesos*»: sería un viaje inútil, pues ninguna señal puede salir al exterior del espacio cerrado sobre sí mismo donde pueden perderse hasta millones de estrellas. Tales «monstruos» son ya parte ineludible de la ciencia actual, y se confirma más y más su existencia en los núcleos de galaxias y como resultado final de la evolución de estrellas de gran masa.

VIII
ORIGEN DEL UNIVERSO

El problema del origen del Universo debe delimitarse cuidadosamente para no confundir el significado que la palabra «*origen*» tiene en el contexto científico y en el ámbito filosófico. Intimamente unida a la cuestión de origen está también la pregunta acerca de la posible infinitud espacial y temporal del conjunto material que se describe con esa palabra.

Recordemos que «*Universo*» debe significar, en este contexto, *todo y sólo aquello que es parte de lo accesible a nuestros experimentos, al menos en principio, o directamente o por sus efectos en lo observable en alguna medida cuantitativa.* No es lícito incluir en su contenido ni otros «universos» que de ningún modo influyen en la materia que estudiamos, aunque se postulen como permitidos por soluciones matemáticas formales, ni realidades como el pensamiento que no tienen comprobación cuantitativa ni son expresables como consecuencia de una de las cuatro interacciones.

Una vez delimitado así el contenido del término, es claro que el Universo presenta a nuestra observación estructuras de diversos niveles, que evolucionan como sistemas físicos según leyes que indican la *uniformidad de la materia y su actividad* en todo lo conocido. Por tanto es lícito, como punto de partida, el afirmar la cognoscibilidad de los fenómenos observables aun a enormes distancias basándonos en lo observable en nuestro entorno: no se encuentra indicio alguno de la existencia de objetos hechos de otro tipo de «materia» que tenga propiedades totalmente nuevas y arbitrariamente distintas. Al contrario: el análisis de la luz emitida por galaxias a distancias enormes, observada después de miles de millones de años de su emisión, claramente muestra que los mismos elementos que usamos en nuestros laboratorios han producido las mismas energías de acuerdo con las mismas leyes físicas.

El siguiente paso se enuncia como necesario para el trabajo científico sobre la totalidad del Universo: *asumimos que el entorno accesible a nuestra observación es representativo de todo lo que existe*. No nos encontramos en un rincón peculiar, porque no hay —al menos en grandes escalas— rincones más peculiares que los demás. Esta *homogeneidad* del Universo va unida a su «*isotropía*»: no hay direcciones especiales. Por tanto, *cualquier observador*, dondequiera que se encuentre, debe obtener una imagen igual del Universo que le rodea dentro de su radio de acción. Este «*Principio Cosmológico*» es metodológicamente conveniente y aun necesario, si bien no estrictamente demostrable, pero se apoya en la observación de zonas amplias del cielo en todas las direcciones, que siempre muestran las mismas estructuras y componentes. Como consecuencia se exige que el Universo no tenga «*bordes*»: de tenerlos, las zonas límite serían distintas de las centrales en el panorama observable en direcciones opuestas.

Si a lo dicho se añade la hipótesis de que el Universo debe ser igual para todo observador también *en todo tiempo*, tenemos el llamado (por sus proponentes) «*Principio Cosmológico Perfecto*», que niega todo límite temporal y toda *evolución de conjunto*, aunque admita la evolución local de sistemas de tamaño reducido en comparación con la totalidad, como serían estrellas y aun galaxias enteras. Este punto de vista necesariamente niega un comienzo o un fin del Universo: debe ser *eterno e inmutable* a pesar de tod*os* los procesos locales de cambio, que incluyen la formación y muerte de estrellas en tiempos físicamente calculables.

Las consecuencias físicas de aceptar simultáneamente las afirmaciones de cada Principio Cosmológico deben formar la base de un raciocinio que tiene implicaciones filosóficas importantes con respecto a la estructura total del cosmos, su origen y su evolución futura. No es suficiente proponer hipótesis más o menos plausibles pero sin base experimental: lo que el Universo es hoy depende de lo que fue en el pasado, y su futuro depende también de las condiciones actuales y del proceder de la materia según las leyes físicas que lo rigen.

DESARROLLO HISTÓRICO

Los sistemas filosóficos más antiguos, sin datos científicos en que apoyarse, admitían una existencia *eterna* para la materia, al menos en un estado caótico. La acción de dioses (*nacidos de esa misma materia*) produciría por etapas diversas las estructuras hoy existentes, tal vez en forma ya tan

definitiva que una evolución futura parecía impensable. El relato bíblico del Génesis utiliza una descripción semejante, aunque afirmando claramente la total independencia de Dios con respecto a la materia y su control completo sobre ella.

Contrapuesta a la *infinitud temporal* (eternidad) se aceptaba la *finitud espacial* y se intentaba resolver el problema de sus límites con alguna esfera imaginaria que encerraba todo lo observable, tal vez con un espacio vacío sin límite a su alrededor. Sin una idea clara de fuerzas y estructuras cósmicas, parecía aceptable un Universo finito, limitado y estático. Pero ya Newton se vio obligado a admitir que una masa finita, sometida a fuerzas gravitatorias en un Universo estático, llevaría a una contracción catastrófica hacia el centro de masa. Esto le llevó a suponer una masa infinita, sin centro ni bordes, evitando así el colapso hacia un punto concreto.

Por otra parte, según la Ley de Gravitación propuesta por el mismo Newton, una masa infinita daría lugar a un potencial infinito en cada punto, con lo cual no podría haber las diferencias de potencial necesarias para que existan fuerzas gravitatorias netas. Tampoco sería estable la distribución de masas: aun con infinitas masas en todas direcciones, las concentraciones locales o desequilibrios transitorios llevarían al colapso por lo menos en ámbitos parciales. No es posible afirmar la validez de las leyes físicas y admitir un Universo estático simultáneamente.

La consideración física de las estrellas como sistemas finitos productores de energía también presentaba una doble paradoja: un número infinito de estrellas, homogéneamente distribuidas por el espacio, y de duración ilimitada, debía producir una bóveda celeste tan brillante de noche como la misma superficie del Sol (*paradoja de Olbers*). Y no era posible tampoco admitir que un sistema finito mantuviese la producción de energía indefinidamente; en realidad, hasta el descubrimiento de la energía nuclear, las reacciones químicas solamente podían explicar para las estrellas una duración máxima de unos millones de años, claramente inferior a las edades geológicas que indican la existencia de vida en la Tierra (con exigencia de radiación solar) durante miles de millones de años.

En 1916 Einstein propuso en su Teoría General de la Relatividad un modelo de Universo *finito pero ilimitado*, y en expansión o contracción, *no estático*. En términos geométricos se describe el espacio observable tridimensional como ła *cuasi-superficie de una hiperesfera de 4 dimensiones*, que tiene volumen finito pero no presenta bordes, cumpliendo el principio de homogeneidad espacial, aunque evoluciona en el tiempo. Es, en

una dimensión más, un modelo análogo al de la Tierra esférica, con superficie finita, pero sin límites o bordes, por tratarse de una superficie curva cerrada.

Porque los datos experimentales de su tiempo no apoyaban este modelo, Einstein introdujo una fuerza repulsiva hipotética («*Constante Cosmológica*») cuyo papel sería el contrarrestar a la gravedad a grandes distancias, para permitir un Universo estático. Pronto se demostró matemáticamente (por Friedman) que aun así, el equilibrio estático era inestable, y que cualquier perturbación en la distribución de masas debería llevar a la expansión o contracción.

El refrendo experimental a las ideas originales de Einstein lo aportó el descubrimiento de Hubble, a fines de la década de 1920-30, de que todas las galaxias fuera del «Grupo Local» muestran un efecto Doppler en su espectro que tiene una interpretación obvia como indicativo de una velocidad de alejamiento proporcional a su distancia del observador. Unido al postulado de homogeneidad del Universo, este alejamiento implica una expansión uniforme del espacio, que arrastra consigo a las galaxias, de forma que *ninguna es el centro.* Las galaxias se comportan como motas de polvo en la superficie de un globo que se hincha: desde cada una se observaría por igual que todas las demás se alejan, tanto más rápidamente cuanto mayor es su distancia original.

Esta interpretación lleva consigo, claramente, el afirmar que las etapas anteriores del Universo eran de mayor densidad y temperatura, con volumen cada vez menor según vamos hacia el pasado. Cuando toda la masa se encontrase arbitrariamente próxima a volumen cero, y a temperatura y densidad también elevada en proporción inversa, tendríamos un comienzo explosivo de la expansión. Esto es lo que se indica con el nombre de la «Gran Explosión», o «*Big Bang*», con el nombre inglés que ya se ha hecho común.

Es posible, determinando numéricamente la relación velocidad-distancia (*constante de Hubble*), el asignar una edad al Universo desde ese comienzo explosivo. Todavía hay una incertidumbre entre valores de 55 kms y 100 kms por segundo por cada millón de parsecs de distancia (parsec = 3.26 años-luz), que corresponden a edades entre 20 y 10 eones (eón = 1000 millones de años). Medidas recientes, sobre todo con observaciones realizadas desde órbita terrestre (Telescopio Hubble) han reducido el margen de error hacia un valor aproximado de 70 km por segundo por millón de parsecs y una edad desde el Big Bang de 14 eones aproximadamente.

Con diversas formulaciones matemáticas y diversos «modelos» de evolución, esta hipótesis se ha ido afianzando cada vez más, a pesar de que muchos cosmólogos se resistían a aceptar un «comienzo» total del Universo que implica preguntas meta-físicas acerca de la razón de su existencia. Por tal actitud y por dificultades originales de compaginar edades con cálculos de evolución estelar, Hoyle, Bondi y Gold propusieron en 1948 su *Teoría del Estado Estacionario* o de la *Creación Continua*, basada en el Principio Cosmológico Perfecto, que aceptaba la expansión pero sin cambio de densidad, por mantenerse ésta constante gracias a la aparición espontánea de nueva materia que compensa el aumento de volumen.

Tanto desde el punto de vista físico como filosófico, ambas alternativas exigen un comienzo de materia (*creación*), bien en un solo acto en el pasado, bien en multitud de actos en forma continua a través del tiempo. Pero en este segundo caso, el Universo como totalidad podría ser eterno, al menos en cuanto los datos experimentales no serían prueba de un comienzo.

DATOS EXPERIMENTALES

La comprobación experimental que permite distinguir entre el modelo estático y el evolutivo se concreta en tres predicciones opuestas. Según el modelo de Creación Continua:

— No hubo una fase primitiva de alta temperatura y densidad; el espacio debe contener solamente radiación atribuible a las estrellas.
— La abundancia relativa de los diversos elementos debe explicarse solamente en términos de evolución estelar: no hubo una etapa de síntesis nuclear previa a las estrellas.
— No debe encontrarse ningún tipo de objeto astronómico en el pasado lejano (visible a gran distancia) que no se encuentre igualmente en el presente (visible en nuestro entorno cercano).

Las predicciones son exactamente opuestas para el modelo evolutivo del Big Bang.

En 1965 Penzias y Wilson detectaron una radiación de fondo, en forma de ondas de radio, que llena todo el espacio con ondas correspondientes a una temperatura de 3 Kelvin (grados medidos a partir del cero absoluto), tal como se esperaba del Big Bang. La abundancia de Helio en

estrellas jóvenes y muy antiguas resultó ser casi idéntica, demostrando así que ese Helio no era producto de la evolución estelar, sino de una fase de alta temperatura previa a la formación de estrellas. La misma proporción de Helio se encontró igualmente en nubes intergalácticas, donde no ha habido estrellas. Y el Deuterio (hidrógeno pesado), que no se forma sino que se destruye en las estrellas, existe también en la proporción esperada segun la física de la Gran Explosión. Finalmente, el descubrimiento de quasares a gran distancia, pero no en las zonas relativamente cercanas del espacio, indicó claramente una evolución del Universo, pasando por diversas fases con procesos distintos en cada etapa.

Por estas pruebas experimentales, corroboradas más y más en años recientes, puede decirse, en palabras de Yakov Zeldovich, que la Teoría de la Gran Explosión «*es parte tan firme de la ciencia moderna como puede serlo la Mecánica de Newton*»: no hay una alternativa científica. Es ineludible admitir que el Universo ha tenido un *comienzo* de alta densidad y temperatura, y que *evoluciona*. Otros detalles son cuestionables físicamente, pero no tienen importancia filosófica.

CONDICIONES INICIALES

Todavía se han dado intentos, más o menos elaborados, de negar un comienzo postulando una fase previa, de contracción, de duración ilimitada («*infinita*»). Al darse las condiciones de altísima temperatura y densidad del Big Bang, toda huella de esa hipotética fase anterior quedaría destruída, y nos sería siempre imposible el saber nada de ella. En un «*Universo cíclico*» se afirma su eternidad por fases alternas de contracción y expansión, sin un verdadero comienzo ni final.

Estas teorías deben juzgarse por su valor *dentro de la metodología científica*, pues se proponen como tales. Con este criterio, debe decirse que no tiene valor alguno una *hipótesis no verificable*, como la de la contracción previa en un tiempo infinito. Ni es físicamente afirmable tal proceso: en un tiempo infinito en el pasado: la densidad sería *cero*, y a partir de cero no puede darse contracción. Se hace necesario afirmar valor *no-cero en un tiempo finito*, con lo que llegamos una vez más a un comienzo. La hipótesis del Universo cíclico tiene, además, obstáculos insuperables, tanto teóricos como experimentales, según veremos al hablar del fin del Universo.

Al afirmar que el Universo tuvo un comienzo, la Cosmología científica nos dice que la aplicación de las leyes físicas a etapas previas del Universo lleva a unas condiciones extremas, en donde no podemos avanzar con seguridad aplicando nuestros conocimientos actuales. Parece fundada la descripción de procesos físicos a partir de la primera millonésima de segundo; tal vez sería posible hablar de cuando la materia había existido solamente una billonésima de segundo. Pero el deseo de descubrir el estado más primitivo posible del Universo nos empuja hacia un tiempo cero, con consecuencias absurdas: llegará la densidad a valores infinitos y también la temperatura, negando la posible aplicación de nuestras ecuaciones en una situación de «*singularidad*».

Físicamente puede evitarse tal situación si se acepta la aplicabilidad del espacio mínimo y el tiempo mínimo de Planck: nunca habría un radio cero para la materia, ni un tiempo cero. Debemos también hacer notar que todo proceso físico exige algún tiempo para ocurrir: *en un tiempo estrictamente cero no ocurre nada*, ni es posible, por tanto, hablar de evolución.

Desde un punto de vista esclusivamente matemático, Stephen Hawking ha desarrollado una solución de las ecuaciones que describen al Universo que no lleva a una singularidad ni en su comienzo ni en los agujeros negros, incluyendo el que se produciría en un colapso total. Para ello, hace uso de una variable —«*tiempo imaginario*»— que es equivalente a negar un comienzo. Sin embargo, Hawking mismo concede que en el *tiempo real* sí hubo un comienzo, y esto es lo único que puede tomarse en cuenta al hablar de la evolución del Universo real. No es extraño que una ecuación nos ofrezca soluciones formales, sin contenido, al mismo tiempo que otras que describen fenómenos físicos, y la selección se hace aplicando la lógica del mundo real.

El afán científico de buscar las *condiciones más primitivas* posibles, que es el significado de buscar un «*comienzo*», se manifiesta actualmente en los esfuerzos de conseguir una síntesis de todas las interacciones de la materia, que se mostrarían como una fuerza única en las condiciones de máxima densidad y temperatura de los momentos próximos al tiempo de Planck. No es posible en esta asignatura el detallar las diversas *Teorías de Gran Unificación*, que se elaboran desde diversos puntos de vista y predicen nuevas partículas o formas de materia sin comprobación experimental hasta la fecha, incluyendo «*defectos del espacio*», como las llamadas «*cuerdas cósmicas*» (*volúmenes* de spacio vacío con diversas propiedades, geométricas y una densidad de energía que aparece como masa

gravitatoria). Los datos más recientes de la distribución de la radiación de fondo, medida por el satélite COBE, nos indican que se confirma claramente la existencia del Big Bang, pero que no reciben apoyo las hipótesis de defectos espaciales.

Gran parte de los intentos de conseguir una descripción del comienzo físico del Universo se origina en el deseo de evitar la indicación exacta de su estado en el primer momento: las «*condiciones iniciales*». Se quiere que toda posible condición inicial sea igualmente válida para llegar, por evolución calculable, al estado actual. De esta manera no habría nada especificado más o menos arbitrariamente para justificar lo que hoy se observa, y no sería este Universo algo «*especial*» dentro del infinito abanico de posibilidades.

Es claro, sin embargo, que este proceder es ilusorio: *ningún sistema físico puede describirse en su evolución sino a partir de condiciones iniciales concretas, y por la aplicación de leyes existentes como resultado de propiedades también concretas de la materia.* Aun en los esfuerzos de dar una descripción completamente general del comienzo, es preciso aceptar una materia regida por las cuatro interacciones, con relaciones determinadas entre sus diversas intensidades y radio de acción, con valores de densidad y temperatura que condicionan su unidad o diversificación. *Si no se afirma NADA como punto de partida, no puede deducirse nada.*

CONSIDERACIONES FILOSÓFICAS

Así llegamos, con estas consideraciones previas, a la pregunta más estrictamente filosófica, expresada por J.A. Wheeler con la frase: «*¿Por qué existe algo, en lugar de nada*?». ¿Cuál es la razón última de que exista la materia, y de que exista así, con las propiedades que tiene? No puede dar una respuesta ningún tipo de ecuación o cálculo cuantitativo: no se trata de una pregunta «*científica*» en el sentido restringido del término.

El primer paso hacia la respuesta puede tomar como punto de partida el *comienzo temporal* del Universo: se afirma un paso de NADA a su existencia. En el modo de hablar de la Relatividad, con Espacio y Tiempo como atributos de la materia, no es posible ni siquiera postular un espacio vacío (Newtoniano) que existiese previamente para que en él apareciese la materia o energía más primitiva. Este paso, de la NADA más absoluta a la existencia de la materia en todas sus formas, solamente nos es posible describirlo con la palabra «*Creación*»: un concepto que

sobrepasa por completo los esquemas físicos, y que ni siquiera aparece, con certeza, en los filósofos más eminentes de la antigüedad, como ya se ha indicado.

Los cambios más o menos profundos, en la estructura de la materia ya existente, se producen por la aplicación de energías cada vez más elevadas al acercarnos más a su esencia íntima, hasta el punto que ningún acelerador de partículas pensable nos permitiría, por ejemplo, demostrar directamente la «*Superfuerza*» de las Teorías de Gran Unificación. En un sentido analógico, casi metafórico, podríamos concluir que para que la materia comience a existir totalmente se requiere una energía estrictamente infinita. Pero no de orden físico, porque éste *presupone la materia;* necesitamos un agente *no material*, de infinito Poder: un Creador.

Sólo así podemos dar una razón suficiente de que ALGO material exista, no como *transformación* de una realidad ya existente, sino como totalmente nuevo, *sin origen físico.* Esto es así tanto si se trata de una creación de toda la realidad material en un solo acto, o si hablamos de la creación de un solo átomo de hidrógeno (Hoyle) en la teoría del Estado Estacionario. No se evita el comienzo radical de la materia por esparcir tal comienzo a través del espacio-tiempo.

Pero el concepto de creación *no depende de un comienzo en el tiempo*. Todo lo que no tiene en sí mismo la razón suficiente de existir debe recibir de otro la existencia, aunque esta existencia no estuviese ligada a un tiempo determinado. En términos filosóficos, lo que es contingente, exige una causa que, últimamente, tiene que ser necesaria por su misma esencia, para no caer en una cadena infinita de causas intermedias, todas las cuales son insuficientes para explicar lo que se busca mientras sean aún contingentes.

¿Qué significa la *contingencia*, y cómo se percibe? El ser contingente podría no existir, porque *su esencia no exige la existencia de un modo único*. Y esta falta de necesidad lógica se muestra en el hecho de la *mutabilidad*: lo que cambia, puede ser de diversas maneras, con lo cual muestra claramente que su modo de existir no está determinado por la esencia. Pero si no puede existir sino con un modo concreto de hacerlo, y éste no fluye de su mismo SER, debe determinarse por algo extrínseco el que *exista de tal modo*, y que EXISTA simplemente. Brevemente: *lo que es mudable es contingente, y todo ser contingente exige como causa suficiente última un ser necesario.*

Que la materia es esencialmente mudable no es discutible: toda actividad, interacción, por la cual solamente podemos definir a la materia,

implica y produce cambio. Así llegamos a la afirmación del Universo como contingente, y, por tanto, creado, porque tiene que recibir su existencia de un Ser no material. Tal afirmación es independiente del tiempo, y es igualmente aplicable aun en el caso *hipotético* de un Universo eterno. Por eso es poco profunda, y falta de contenido filosófico, la afirmación de Hawking al decir que si el Universo no tuvo comienzo, no es necesario exigir un Creador.

Todavía es posible ahondar más en el concepto de contingencia desde el punto de vista de las condiciones iniciales. El acto de creación, porque determina a un ser que puede tener toda una variedad de modos de existir, ha de determinar todas las propiedades con las cuales de hecho comienza. No es posible decir «Hágase el Universo» y que éste comience a existir con tal cantidad de materia y no otra, con tal temperatura y no otra, con tales fuerzas y características y no otras: no hay razón suficiente para ello en un acto creativo «en general».

Como dice Wheeler: «*mutabilidad implica ajustabilidad*; el Universo tuvo que ser ajustado en su primer momento para comenzar con las propiedades correctas para dar lugar a la vida inteligente». Aun sin incluir esta última afirmación como parte del raciocinio, la necesidad de una elección de propiedades entre el abanico ilimitado de posibilidades se sigue lógicamente de lo que es el acto creativo de algo que por sí mismo es NADA.

CREACIÓN - ¿AZAR?

También es posible argüir que la elección de parámetros iniciales a partir de un número ilimitado de posibilidades exige un *conocimiento* de todas esas posibilidades, y una razón para *elegir* una concreta para realizarla. Así se llega a la afirmación de una inteligencia infinita, que actúa libremente (un ser personal) con un fin para crear: todo el que actúa inteligentemente lo hace con alguna finalidad. No tiene sentido hablar de un «*Creador no-personal*» ni de una «*naturaleza*» personificada en sentido metafórico, que termina siendo el mismo universo material cuyo origen se busca. Ni puede ser la creación el resultado de un «*azar*» sin contenido real, ni en el hecho mismo de comenzar a existir ni en la determinación de condiciones y parámetros iniciales. El azar, como se explicó al tratar de las leyes físicas, no es una forma de la materia, ni una fuerza, ni un agente al que pueda atribuirse un fenómeno: no tiene otro contenido que el negar relaciones reales de influjo mutuo entre hechos que se quieren considerar conjuntamente.

Autores que quieren evitar las consecuencias filosófico-teológicas que hemos descrito acuden a hipótesis de una «*creación*» equívoca, sin Creador, en que el Universo aparece espontáneamente por una *fluctuación cuántica del espacio vacío*, como se acepta que aparecen pares de partículas y antipartículas, al menos «*virtuales*». A esto se añade frecuentemente la afirmación de que en un tiempo indefinidamente amplio todas las posibilidades se realizan de hecho, y así no es necesario explicar el que este Universo tenga tales características concretas: es uno de una multitud infinita en que se dan todas las variaciones de parámetros posibles.

Este razonamiento se basa en una afirmación implícita equivocada, pues da por aceptada la existencia (sin explicación alguna) de un *vacío físico* que ya hemos visto repetidamente ES materia, y que tiene determinadas propiedades y leyes que se invocan para afirmar la aparición de los pares de partículas. El equiparar la NADA a ese vacío, para decir luego que el Universo aparece espontáneamente de la nada, es un juego de palabras totalmente equívoco. Tan difícil es explicar la existencia de ese vacío físico con sus energías y sus modos concretos de actuar como puede serlo el explicar que las partículas se produzcan independientemente de él.

Tampoco es metodológicamente correcto el afirmar, sin prueba ni posible comprobación, que se dan infinitos universos con todas las propiedades posibles. Es un subterfugio comparable al de pedir que se den realmente todos los valores posibles en una tirada de dados, para que las probabilidades que indica el cálculo matemático se realicen, cada una en un universo distinto.

¿INFINITUD ESPACIAL?

Para terminar este tema, debemos volver a tratar de la posibilidad de dimensiones de valor infinito dentro del Universo real. Ya hemos indicado las paradojas físicas que se siguen de postular una masa infinita junto con una duración infinita en el pasado. Prescindiendo de ésta, cabe solucionar la paradoja de Olbers, e incluso la paradoja gravitatoria, afirmando que el Universo no ha dado tiempo suficiente para que la luz o la fuerza gravitatoria de las regiones más distantes haya viajado hasta un observador. Y se aduce como consecuencia necesaria de la falta de masa crítica en un Universo Einsteniano el que sea *espacialmente infinito*, por tener *curvatura negativa o nula* correspondiente a superficies que no se cierran sobre sí mismas.

Estas representaciones geométricas no son sino explicaciones intuitivas de lo que significan técnicamente los términos utilizados. Pero su única consecuencia *demostrable* es la expansión de algo finito hacia un tamaño indefinidamente creciente (*curvatura negativa*), o hacia un tamaño máximo al que se acerca el Universo asintóticamente, sin alcanzarlo nunca en un tiempo finito (*curvatura nula*, geometría plana). *Lo que es realmente infinito no puede crecer en modo alguno.*

Es conveniente repetir una vez más el principio metodológico de que solamente debemos afirmar lo que es experimentable, y ningún experimento —o cálculo apoyado en datos experimentales— puede llevar a valores infinitos de *ningún parámetro físico*. Al contrario: el que aparezcan infinitudes en una teoría es indicio suficiente de su falta de aplicabilidad al universo real, como lo muestran claramente los esfuerzos ya mencionados por evitar cualquier situación de «singularidad». Si somos consecuentes con la exactitud exigida en el lenguaje científico, el término «infinito» debe dejar de utilizarse: solamente puede hablarse de un crecimiento *ilimitado* de alguna propiedad medible, en procesos que no tienen una razón de cesar en su aplicación (por ejemplo, la contracción de la materia que cae en un agujero negro).

EVOLUCIÓN HASTA EL PRESENTE

La evolución del Universo a partir de su creación ha dado lugar, por etapas aún no bien comprendidas, a la formación de galaxias en cúmulos y supercúmulos, con generaciones de estrellas que se han sucedido durante unos 10 a 15 eones. Se calcula el número de galaxias observables en unos 100 mil millones, con un número semejante de estrellas en cada galaxia. Y se llega a decir que el número de partículas elementales en el Universo sería del orden de 10^{80}, con una masa total de 10^{53} gramos.

Estas cifras, naturalmente, se refieren al Universo observable, extrapolando su densidad a todo el volumen alcanzable por nuestros instrumentos. Cabe la posibilidad de que haya todavía regiones más distantes que lleguen a conocerse con nuevas técnicas, aunque los medios hoy utilizados serían capaces de detectar quasares a distancias mayores. Pero se daría un límite impuesto por el tiempo necesario para que la luz recorra distancias ya tan grandes que la edad del Universo podría ser insuficiente para el viaje.

A partir de la nube de H y He de la Gran Explosión, se formaron galaxias y estrellas que con su evolución produjeron los elementos más

pesados. Todos estos, hasta el hierro inclusive, son el resultado normal de reacciones nucleares durante la evolución de estrellas de gran masa, que luego explotan y permiten durante breves minutos la síntesis de otros átomos desde el hierro hasta el uranio (que son mucho menos abundantes). De todos estos materiales se forman nuevas estrellas, tal vez acompañadas de planetas; el Sol y su familia de planetas y satélites se condensaron hace casi 5 eones a partir de una nube cósmica ya enriquecida con los productos de dos o más generaciones previas de estrellas en nuestra zona de la Vía Láctea. Procesos semejantes se han detectado, al menos como discos de gas y polvo, alrededor de otras estrellas relativamente cercanas y de reciente formación.

El juego de fuerzas en la nube solar, con el predominio local de la condensación gravitatoria o de la expansión resultante de la temperatura y la presión de gases expulsados por el Sol primitivo, determinaron la composición de los planetas y sus propiedades físicas como función de la distancia al Sol. Y aunque no podemos demostrar cuantitativamente cómo se formó cada planeta, sus diferencias cualitativas reciben una explicación satisfactoria por procesos físicos conocidos.

Queda, sin embargo, la pregunta más profunda acerca de toda esta evolución cósmica en su *relación* a la formación de la Tierra como morada de la vida, y del *Hombre* concretamente. De esto trataremos en el tema siguiente.

IX
FUTURO DEL UNIVERSO

Como todo sistema físico en evolución, el Universo permite calcular sus propiedades futuras a partir de las condiciones actuales y de las leyes físicas aplicables a la materia. Esto no tiene especial importancia desde el punto de vista filosófico, sino en cuanto tal evolución puede llevar a un fin o término su misma existencia o la existencia de realidades que dependen de un estado particular de organización de la materia, como son los vivientes, incluido el Hombre.

Por la transformación del Sol en Gigante Roja, debida al agotamiento del Hidrógeno en su núcleo, la Tierra sufrirá un aumento progresivo de temperatura que puede hacerla inadecuada para la vida en unos 500 millones de años, un tiempo comparable al que han tenido hasta el presente los organismos pluricelulares. Otros planetas más alejados del Sol serían durante algún tiempo posiblemente habitables, pero todo el sistema solar está llamado a sufrir cambios drásticos que terminarán con el apagarse del Sol dentro de unos 5 eones más.

Otras estrellas evolucionarán de manera semejante, mientras el Universo prosigue su expansión. En todos los procesos físicos se da una conversión de diversas energías en energía térmica irrecuperable, con el consiguiente aumento global de «entropía», medida del desorden o de la energía degradada y no recuperable para realizar nuevos procesos de estructuración de la materia.

ALTERNATIVAS: EXPANSIÓN - CONTRACCIÓN

Desde el punto de vista de la Cosmología científica, el futuro del Universo debe discutirse en términos de su expansión, que nos presenta con dos posibilidades: o bien la velocidad de expansión es suficiente para que la gravedad nunca frene por completo el alejamiento mutuo de los cúmulos de galaxias, o la expansión cesará para dar lugar a una fase de contracción, que debe llevar a toda la materia del Universo a concentrarse en un solo punto. Cada una de estas alternativas puede, teóricamente, ramificarse con detalles más o menos acordes con las leyes de la física o con suposiciones varias.

El factor determinante de la evolución futura es la relación entre la velocidad de alejamiento como función de la distancia (*constante de Hubble*), y la *densidad* del Universo (que determina la atracción gravitatoria que causa una deceleración o frenado progresivo del movimiento de las galaxias). Ninguno de estos parámetros es conocido con suficiente exactitud para obtener una predicción cierta del comportamiento futuro.

Ya se ha indicado que el valor de la constante de Hubble se debate todavía con opiniones y medidas que la hacen oscilar entre 55 y 100 kms/s/Mpc. La densidad inferida de la materia visible es solamente una décima parte de la que se obtiene de los movimientos de estrellas en el campo gravitatorio de una galaxia, o de las galaxias individuales en los cúmulos. Es necesario aceptar la existencia de gran cantidad de «*materia oscura*» no directamente detectable y de composición desconocida. Lo mismo se deduce de las irregularidades de la radiación cósmica encontradas por el satélite COBE: exigen materia oscura para dar lugar a la formación de galaxias y cúmulos en el tiempo que media entre el Big Bang y la aparición de los quasares más primitivos.

Aun con esa masa adicional inferida por cálculos gravitatorios, la densidad del Universo solamente sería, como máximo, un 20% de la *densidad crítica*, que produce una expansión indefinida hacia un tamaño límite que nunca se alcanza. Tal densidad (de unos tres átomos de H por metro cúbico) corresponde al modelo geométrico de espacio «*plano*», mientras que la densidad menor de nuestros datos experimentales lleva a predecir una expansión a tamaño siempre creciente sin límite, en un espacio también «*abierto*» pero de curvatura negativa.

Teorías actuales de unificación de fuerzas y de un Big Bang *inflacionario* exigen que la densidad real sea exactamente igual a la crítica, para lo cual sería preciso que existiese una cantidad de masa desconocida de

casi el 90% del total: lo que es observable sería como una espuma de algo mucho más masivo y determinante del comportamiento del Universo. Se han propuesto como componentes de la masa que falta neutrinos con masa, «*defectos*» causados en la misma estructura del espacio por «cambios de fase» en los primeros instantes, y partículas hipotéticas.

Todas estas opciones son indiferentes filosóficamente: en ningún caso se sugiere que la masa deba *superar* a la crítica, con lo que la predicción del futuro del Universo sigue siendo su expansión nunca totalmente frenada, en concordancia también con todos los datos experimentales obtenidos hasta el presente. El posible descubrimiento reciente de un aumento de velocidad en la expansión como función del tiempo (atribuido a la Constante Cosmológica de Einstein) haría aún más definitiva la predicción de un Universo abierto.

Sin embargo, por razones de preferencia teórica y filosófica, hay autores que insisten en afirmar que el Universo tendrá masa *superior a la crítica*, y que su expansión se convertirá en contracción y colapso, que, generalmente, se afirma también será seguido de otra Gran Explosión en una serie eterna de ciclos. Así se quiere evitar el problema del origen (como ya hemos indicado) y de un fin de desintegración total que parece demasiado pesimista y sin sentido.

Debemos admitir el carácter provisional de nuestras medidas: siempre cabe la posibilidad de que se descubran nuevas formas de materia y de que nuevas teorías exijan una densidad mayor que la crítica. Pero aun en tal caso, las leyes conocidas de la Física nos llevan a predecir que el colapso de las galaxias en la fase de contracción dará lugar a un gigantesco agujero negro, del cual *ninguna ley permite que haya un rebote explosivo*. No se da una vez más la situación del Big Bang: en éste, era el *espacio* mismo el que se expandía, llevando consigo a la energía y las partículas de la nube incandescente primitiva. No había un espacio circundante, dentro del cual pudiese formarse el horizonte de sucesos de un agujero negro.

En cambio, al final de un colapso de todas las galaxias, sí se formaría ese horizonte de sucesos, separando el volumen donde se contrajeron las galaxias de un espacio exterior donde todavía se darían energías y partículas no arrastradas por las fuerzas gravitatorias que frenaron a las galaxias. En tal situación, los límites impuestos por la Teoría de la Relatividad a las trayectorias de masa y de luz dentro del radio de Schwarzschild siguen siendo válidas; no puede darse una erupción de materia para un nuevo Big Bang.

Todavía se insiste en que no sabemos cómo se comportaría la materia en un colapso total como el descrito, y que puede haber nuevos fenómenos o leyes que den lugar a un Universo cíclico, que se renueve indefinidamente, sin que se dé nunca un verdadero principio ni un fin de su existencia y actividad. Si se admite como hipótesis tal sucesión de ciclos, todavía es necesario aplicar las leyes físicas a sus parámetros, y el resultado niega la infinitud que se intenta justificar.

En cada ciclo, la evolución de las estrellas transforma masa en energía, y ésta no sufre el colapso en la fase de contracción, por tener una velocidad mayor (c, la velocidad constante de la luz) que la de alejamiento de las galaxias. Por tanto, cada ciclo tendrá una mayor razón de energía a masa, llevando a una mayor duración del ciclo, según cálculos ya presentados por Tolman hace casi 70 años. Como consecuencia, solamente es compatible con el valor actual de la entropía un *número finito de ciclos* en el pasado, y el Universo terminaría con un ciclo incompleto de tal equilibrio entre energía y masa que su volumen crecería asintóticamente al valor máximo predicho para la densidad crítica.

Así pues, todo lo que es científicamente demostrable nos indica una evolución del Universo hacia la destrucción de todas las estructuras que hoy observamos: galaxias, estrellas y planetas terminarán como una colección de cuerpos fríos y oscuros en un espacio cada vez más vacío. Pero *la Física no puede predecir el que la materia cese de existir*, como tampoco puede explicar el que comience; y mientras la materia existe, se dará, como mínimo, la pura actividad cuántica del vacío físico, acercándose más y más al cero absoluto de temperatura, sin alcanzarlo nunca. Tal afirmación conlleva el aceptar la existencia de espacio y tiempo ligados a esa materia, aunque no haya ningún observador que constate sus valores, como tampoco lo había en las fases más primitivas y anteriores a la evolución estelar.

FIN Y FINALIDAD: PRINCIPIO ANTRÓPICO

Esta «*muerte del Universo*» produce, lógicamente, una sensación negativa, de futilidad y de absurdo: ¿qué razón suficiente puede darse que justifique la existencia y evolución durante tanto tiempo de tantas maravillas, si todo termina deshaciéndose en ese final desolador? No se responde adecuadamente haciendo notar que la duración futura es todavía incomprensiblemente larga: todo lo que termina es igualmente pobre como explicación.

Así llegamos, desde los datos de la Astrofísica, a una pregunta sobre la finalidad del Universo, desde su origen (para buscar la razón de que tenga las características que tiene), hasta su fin, para buscar una respuesta a su aparente futilidad. Como pregunta sobre un aspecto no medible, ni sujeto a comprobación experimental, debe tratarse filosóficamente en la *meta-física*.

Diversos autores (Carter, Gale, Wheeler...) han insistido en años recientes sobre el finísimo *ajuste* de propiedades iniciales del Universo, necesario para que en él se haya podido dar la vida inteligente. Este es el significado del «*Principio Antrópico*», en sus diversas formulaciones.

En su forma más restringida, el *Principio Antrópico Débil* es casi tautológico: ya que la vida inteligente existe, el Universo tiene que tener las condiciones que la hacen posible. Es solamente la constatación de un hecho, pero sin dar una razón de que ocurra así. No añade nada a nuestra concepción del Universo, ni tiene contenido estrictamente filosófico, aunque subraya algo importante: solamente un conjunto de propiedades muy específicas permitirán que la vida inteligente exista en un Universo sujeto a leyes físicas coherentes.

El *Principio Antrópico Fuerte* incluye una afirmación de *finalidad* ya presente en el primer instante, por la cual se crea al Universo con las características necesarias para que su evolución hasta el nivel de vida inteligente sea posible. La base científica de tal afirmación se halla en el cálculo de las consecuencias que seguirían a cualquier cambio apreciable en los parámetros iniciales: masa total del Universo, valores de las constantes que especifican la intensidad relativa de las diversas interacciones, etc.

En cada caso se arguye que la evolución de la materia así modificada impediría la formación de estrellas de suficiente duración, o la síntesis de los elementos pesados requeridos para formar un planeta donde la vida pueda darse y desarrollarse suficientemente, o la existencia de macromoléculas estables como las que requiere la actividad biológica. Incluso puede añadirse que las propiedades concretas de la Tierra (masa, distancia al Sol, inclinación de su eje de rotación, núcleo de hierro líquido, tectónica de placas, mareas de intensidad suficiente por la presencia de la Luna...) son factores muy poco probables en términos astronómicos, pero de gran importancia para que la vida inteligente se haya desarrollado de hecho.

Como consecuencia de tantas variables «ajustadas» con gran precisión y con un margen muy pequeño aceptable de cambio, existe el Hombre (entendido simplemente como «animal racional»).

Así se deduce la finalidad del Universo de los resultados calculables de variar apreciablemente sus parámetros: cualesquiera que sean las demás consecuencias, aparece como denominador común el que la vida inteligente no se daría. No es posible dar otra razón suficiente de tal conjunto de coincidencias sino el que la existencia del Hombre está prevista y buscada al determinar cómo será el Universo: la vida inteligente es la razón explicativa de que exista y tenga las propiedades que tiene, y toda la evolución desde el Big Bang se justifica porque lleva finalmente a la aparición del Hombre.

Podríamos usar como ilustración de este argumento un ejemplo de nuestra tecnología. Si viésemos una fábrica automática que produce toda clase de objetos, incluyendo ordenadores electrónicos de gran potencia, podríamos preguntarnos qué efecto tendría un cambio en los diversos mandos de la cabina de control. Si el modificar cualquier ajuste tuviese siempre como resultado el que no se produjesen ordenadores ni ninguna cosa de complejidad comparable o de funcionamiento equivalente, tendríamos la certeza de que los ajustes originales estaban hechos para que los ordenadores se produjesen. Es posible negar la fuerza probativa del raciocinio en lógica estricta, pero sin duda que el argumento refleja la manera de pensar más común y obvia.

Aun autores que evitan el recurso a un Creador, como Wheeler, se ven forzados a buscar un autor de los ajustes iniciales. Proponiendo el Principio Antrópico «*participatorio*», aduce como razón de que el Universo haya comenzado con las características que hicieron posible el futuro desarrollo de la vida inteligente el que *esta misma inteligencia*, como «*observador cuántico*» hace REAL al Universo, con una especie de influjo no especificado hacia el pasado. No puede darse *ningún mecanismo físico* para tal influjo; solamente se afirma que, para ser REAL, cualquier Universo debe ser conocido de hecho por algún observador inteligente. Y como la selección de condiciones iniciales requiere un agente, se busca éste no en un Creador omnipotente y conocedor de lo que crea, sino en un efecto de tipo mágico, inconsciente, del acto de observar a la materia miles de millones de años más tarde. La existencia de este tipo de observador puede «justificar» la existencia del Universo y su ajuste inicial de parámetros, pero roza el absurdo el atribuirle la existencia misma de lo que es previo y necesario para la suya propia: el círculo vicioso es claro. Y no se resuelve la objeción obvia de que la evolución futura de ese mismo Universo llevará a la destrucción de todas las estructuras, incluídas las estructuras orgánicas que encierran la inteligencia.

Una vez más es necesario hacer notar que la afirmación de finalidad *no es propiamente parte de la Física*, pues no se trata de algo medible ni demostrable experimentalmente. Ni siquiera puede incluirse tal finalidad en un cálculo matemático, ni puede usarse el Principio Antrópico como base *predictiva* para nuevos experimentos u observaciones. Por tanto, no estamos ante un principio *científico* en el sentido normal de la palabra. Esto no quiere decir que sea una afirmación ilegítima o inútil dentro del ámbito filosófico; al contrario, muestra claramente que los científicos son personas que no se satisfacen con sólo las respuestas al «*cómo*» de las cosas, sino que comparten el deseo universal de saber «*por qué*» y «*para qué*».

Partiendo de la afirmación explicada en el tema anterior, acerca de la necesidad de una razón motivadora para toda actividad inteligente, es claro que debe afirmarse que el Creador tuvo que buscar un fin al crear y elegir un conjunto determinado de propiedades para el Universo que de hecho creó. Tal fin tiene que corresponder a la máxima estructuración y máximo nivel de actividad de que es capaz la materia, que ocurre en el nivel de inteligencia con base orgánica. Esta es la condición que más estrictamente determina las propiedades iniciales.

La exigencia de posibilidad de vida inteligente no significa que tan sólo aquí en la Tierra se haya dado de hecho: más bien es natural pensar que las condiciones que hicieron posible su existencia en un planeta permitirán que también aparezca en otros, aunque no tengamos datos suficientes sobre planeta alguno fuera del sistema solar. Pero es verdad que la opinión científica ha evolucionado en los últimos 20 años en el sentido de considerar cada vez más difícil el que se haya dado en otros lugares el conjunto de condiciones que se dieron en nuestro planeta, y que influyeron decisivamente en su habitabilidad y en el desarrollo de la vida hasta el Hombre.

Solamente, en estudios de meteoritos (recogidos en la Antártida y de composición que indica su procedencia de Marte), se sugiere la existencia en ese planeta de microbios hace más de 3.600 millones de años, sin evolución subsiguiente hacia formas más complejas. Y los múltiples sistemas planetarios descubiertos indirectamente en años recientes alrededor de estrellas relativamente cercanas todavía no han indicado la existencia de planetas habitables, en parte por la dificultad técnica de detectar cuerpos de masa comparable a la terrestre, pero también por la presencia de planetas gigantes cerca de la estrella, con efectos incompatibles con la estabilidad orbital de planetas terrestres en la zona de temperaturas adecuadas.

EL HOMBRE EN EL FUTURO

El Principio Antrópico, afirmando la finalidad del Universo que culmina en el Hombre, deja todavía sin resolver el gran interrogante de su evolución en el futuro: *¿para qué vale que exista la inteligencia, si todo va a destruirse cuando el Universo no tenga condiciones para la vida?* Cuanto mayor es el grado de organización y el nivel de vida que se alcanza, más absurdo parece el que todo se destruya. Tanto en un Universo cíclico como en una única evolución, carece de sentido el hacer algo maravilloso para luego deshacerlo inútilmente. No es este proceder el que se espera de una Inteligencia que crea con infinito poder y con la cuidadosa selección de lo que va a existir.

Para poder superar este contrasentido no nos basta el considerar la futura evolución de la materia, cuyo destino físico no deja lugar a dudas. Pero es posible ampliar nuestra base de inferencias lógicas si tenemos en cuenta que en el Hombre aparece un nuevo nivel de actividad que no es reductible a las interacciones de la materia.

El pensamiento abstracto, la consciencia, la actividad espontánea y libre, no son realidades cuantificables ni expresables en términos de fuerzas y partículas. Se dan en un ser viviente material, y van acompañadas de actividad físico-química a diversos niveles, pero no puede establecerse una *correlación* entre el *contenido* de un pensamiento o el *valor ético-moral* de una decisión y ningún parámetro *material*. Por eso es legítimo e inevitable el aceptar un nuevo origen para toda esa actividad específica del Hombre: una realidad no-material que llamamos «*espíritu humano*», o alma. No en el sentido de algo aprisionado en la materia o yuxtapuesto a ella como un jinete sobre su montura (*dualismo* Cartesiano), sino como parte de *un todo* que muestra su *composición dual* por la diversidad de funciones, con mutuas influencias, pero con resultados inconfundibles y propios de cada parte. Es la extensión del modo científico de razonar, común a todo argumento lógico: si los factores de un orden determinado no bastan para una explicación, es necesario admitir que otros factores distintos son responsables de lo que es un hecho innegable.

Una vez que se acepta esta nueva realidad no-material, responsable de la actividad consciente y libre del Hombre, queda abierta filosóficamente la *posibilidad* de su supervivencia aunque la materia pierda su estructuración, o en la muerte individual, o en la destrucción última del cosmos. Así puede salvarse de la futilidad el Universo que tiene su razón

de ser en el Hombre: la evolución material ha sido necesaria para que esta nueva realidad exista, y una vez que existe, puede perdurar indefinidamente porque *no es parte de la materia* que se desmorona.

Cuanto queda dicho no es una prueba convincente de la supervivencia del alma humana, sino una indicación de su posibilidad y de que en tal supervivencia se encontraría una solución para que el Universo no aparezca como absurdo y sin razón suficiente. En tratados de Filosofía del Hombre se deben buscar los argumentos más detallados que corroboran estas indicaciones.

La conexión entre la finalidad del Universo, sus propiedades físicas y la existencia del Hombre nos ha llevado a consideraciones que exceden los límites iniciales de esta asignatura, definida como *Filosofía de la Materia no-viviente*. No es posible siempre aislar el hecho de la vida, enraizada en la materia y sus interacciones, del estudio de la materia misma; la vida como tal, y especialmente como sede de la consciencia y la inteligencia, nos lleva a consideraciones útiles al hablar de los datos de nuestras sensaciones, del tiempo, de las relaciones entre leyes físicas y nuestro conocimiento de la realidad extramental. Ya hemos visto que en diversos problemas se proponen soluciones de sesgo idealista, haciendo depender el estado real de un sistema del hecho de su observación, buscando otros «Universos» para dar realidad a los cálculos de probabilidades, haciendo depender la misma existencia del Universo observable de una «causalidad hacia el pasado» de nuestra existencia y observación actual.

En todos estos casos se insiste en la inseparabilidad del acto de observar y el hecho observado, de modo que el observador se convierte en «participante» (Wheeler), con una interacción que desdibuja los límites entre objetividad y subjetividad. Y sin embargo, el trabajo científico busca constantemente la separación de ambos campos, exigiendo que los resultados sean independientes del observador, sustituyendo al hombre por aparatos automáticos y sin consciencia propia, cuyos resultados se comprueban mucho más tarde de que haya tenido lugar el experimento u observación. No se *inventan* nuevas partículas: se *descubren*. Lo mismo es aplicable a todos los nuevos datos astronómicos, sean éstos los paisajes de un satélite de Júpiter o los quasares más lejanos y primitivos. Cualesquiera que sean las opiniones filosóficas y las afirmaciones más o menos teóricas y simbólicas de los diversos científicos al hablar de temas difíciles como los mencionados, todo su quehacer real y su *comportamiento práctico* es un testimonio constante en favor de la separación enti-

tativa entre lo subjetivo y lo extramental; sólo esto se considera objeto de la ciencia experimental estrictamente dicha.

Es un dato en favor de lo expuesto el constante rechazo por la práctica totalidad del mundo científico de todas las afirmaciones de la parapsicología acerca de la capacidad de influir en la materia por medios subjetivos, tanto en la predicción de resultados aleatorios como en la *telekinesia* o en la *telepatía*, con sus implicaciones de transmisión de señales sin dependencia del espacio o de una onda detectable. No es propio de este estudio el discutir la posible verificación de tales afirmaciones, pero sí es correcto hacer notar que si se admite que el observador puede determinar el estado de un sistema con el acto de observación, no sería lógico negar, por ejemplo, que el mismo observador pueda determinar qué número de un dado de hecho saldrá en la tirada.

Volviendo a las implicaciones del Principio Antrópico para el origen del Universo, si reafirmamos la necesidad de una Causa necesaria para todo lo que es contingente, es claro que el Hombre, tan contingente y perecedero, no dará origen al Universo del cual procede, ni podrá determinar en modo alguno sus características iniciales. No hay causalidad hacia el pasado (recordemos el *cono de luz de Minkowski*), ni se admite tal influjo como explicación para ningún proceso físico aun con respecto a períodos de tiempo mínimos.

Tampoco existe «*el Hombre*» en abstracto, sino una multitud de seres inteligentes concretos, todos con igual derecho a determinar el pasado, desde el Hombre de las cavernas hasta Einstein. De conocer que es necesario hacerlo, cada uno podría cambiar las condiciones iniciales en forma caprichosa y contradictoria, según sus diferentes puntos de vista. Si se hace de un modo automático, inconsciente, se niega consecuentemente el papel de la consciencia que se quiere subrayar. El acto de observar también puede atribuirse a los animales, o a un instrumento. No es posible dar una razón lógica de una alternativa en preferencia a otra, pues ningún físico acepta que mi actividad subjetiva tenga consecuencias sobre la realidad material externa a mí. Cuando nuestra consciencia no influye en el presente físico ni en un pasado de hace unos minutos, no tiene sentido decir que lo ha hecho en el Universo desconocido de hace miles de millones de años.

¿INVERSION TEMPORAL?

Finalmente, al hablar del futuro en un Universo con masa superior a la crítica, se dice a veces que se daría una inversión del tiempo durante el período de contracción. Stephen Hawking menciona la expansión como una de las «*flechas del Tiempo*» que hacen que el tiempo vaya siempre del pasado al futuro, y no al revés (las otras serían: el aumento de entropía, la desintegración de mesones K, la propagación de ondas electromagnéticas, y la memoria del pasado y no del futuro). Sin detenernos en una discusión del valor de estas afirmaciones —muy cuestionables filosóficamente— es posible hacer notar que en un proceso de contracción sigue siendo verdad que cada momento de mayor densidad es *posterior* al anterior de densidad menor, y que sus parámetros son calculables a partir del estado *previo*: no hay inversión temporal alguna.

Incluso los estados físicos no se repiten en todas las escalas: las galaxias que se aproximan mutuamente tienen ya distinta composición estelar que cuando se separaban; la densidad de radiación en el espacio y su relación a la masa total es también distinta e irreversible; la misma contracción afecta de distinta manera a las masas galácticas y a sus entornos, y el estado final tampoco es simétrico con la primera explosión. Es físicamente sin sentido el hablar de volver al pasado, tanto en sistemas de la microfísica como en el caso de la macrofísica y del Cosmos en su totalidad evolutiva, aunque las ecuaciones que lo describen tengan soluciones matemáticas *meramente formales* invirtiendo el signo de la variable «tiempo». La Matemática es un lenguaje conciso y maravilloso para expresar relaciones cuantitativas, pero es solamente *un lenguaje*, cuyo significado ha sido elegido artificialmente y que no puede imponer un modo de actuar a la materia.

X
LÍMITES DEL CONOCIMIENTO

Al terminar el temario de la Filosofía de la Naturaleza, en que una y otra vez nos hemos encontrado con problemas que no tienen una solución intuitiva y satisfactoria, es lógico que nos preguntemos hasta dónde es posible avanzar con nuestra experimentación y raciocinio. ¿Podremos algún día llegar a entender a la materia y toda su actividad? ¿Estaremos siempre intentando en vano llegar al fondo de su estructura y de su esencia? Parece que debemos responder de algún modo que sitúe nuestro esfuerzo en el contexto de lo posible y del desarrollo histórico del saber.

DESARROLLO DEL CONOCIMIENTO

Sin pretender en unas pocas líneas sustituir a un tratado de Teoría del Conocimiento, conviene volver a nuestro tema inicial para ampliar sus puntos de vista. Todo nuestro conocimiento se origina por la interacción con el mundo externo, mediante las sensaciones. Así alcanzamos los primeros datos de una experiencia vulgar que conforma nuestra imagen del mundo extramental, con inferencias espontáneas y raciocinios implícitos, que nos permiten ir clasificando la realidad y su comportamiento con etiquetas mentales para algo que tiene una serie de interacciones conocidas por su constancia: una piedra, el fuego, el agua... Cuando conocemos el comportamiento de un objeto y sus características obvias, «*sabemos lo que es*».

Así nace nuestro bagaje elemental de conceptos aplicables al mundo de la materia. Y también nace, de forma simultánea y espontánea, la convicción de que hay procederes fijos que nos permiten predecir el desarrollo inmediato de un sistema sencillo: una roca que yo suelto de

mi mano, se caerá; el fuego aplicado a una madera, la convertirá en ceniza; el azúcar se disolverá en el agua.

Cuando esta experiencia personal se completa con la transmisión de información obtenida por otras personas fidedignas (o sea «*dignas de fe*», en el sentido meramente humano, de aceptar conocimientos por testimonio ajeno), es posible ampliar nuestra imagen del mundo externo con la experiencia de un sinnúmero de observadores de todos los tiempos y lugares: así se da sólo en el Hombre el fenómeno de la transmisión de cultura, que cada vez nos da una base más amplia para conocer con mayor extensión y profundidad. Con la frase de Newton: «Si podemos alcanzar más lejos con nuestra mirada, es porque estamos sobre los hombros de gigantes que nos precedieron».

Cuando la experiencia «vulgar» que hemos descrito se refina y hace más exacta por la aplicación de la *medida* y la constatación *repetida e independiente*, nace la Ciencia en su sentido actual. Pero la ciencia no es una mera acumulación de datos, por muchos que éstos sean; solamente es ciencia en cuanto intenta dar una *síntesis* inteligible con *relaciones lógicas* entre diversos hechos, las propiedades de la materia, y procederes constantes determinables y calculables.

Así se desarrollan «*modelos*» de estructuras y de evolución, y «*teorías*» que *explican*, a algún nivel, los hechos observados mientras permiten *inferir* otros nuevos y aún desconocidos. Todo esto requiere luego un *refrendo experimental*, que reforzará la teoría o tal vez obligará a modificarla o abandonarla por completo.

En todo este proceso es el proceder de la materia lo que utilizamos como indicación de lo que ES: *el actuar fluye del ser*. Por tanto, utilizamos *definiciones operativas*, que nos indican cómo reconocer algo material por una serie más o menos compleja de experimentos en que deben manifestarse las propiedades exclusivas de lo que buscamos. Pensemos en los procesos de análisis químico o en la determinación de partículas en un experimento nuclear, donde la identidad se infiere de medidas por las cuales se calcula la masa y la carga eléctrica por las trayectorias dejadas en cámaras de chispas o de niebla bajo la acción de campos eléctricos y magnéticos.

COMPRENDER - IMAGINAR

Nuestra dependencia cognoscitiva de los sentidos nos lleva a utilizar *imágenes* del mundo macroscópico de nivel humano para expresar lo que la materia es a todos los niveles. Así hablamos de «*partículas*», como un límite no perceptible de los gránulos más pequeños detectados por la vista o el tacto; hablamos de «*ondas*» con la imagen visual de la superficie del agua o de los movimientos de una cuerda; decimos que la electricidad «*fluye*» como si se tratase de un líquido, y seguimos refiriéndonos a los niveles de energía de un átomo en términos de «*órbitas*» de un sistema planetario en miniatura.

Todas estas imágenes son representaciones *parciales* de la realidad, y nos vemos obligados por los avances científicos a insistir en que no pueden ser tomadas como totalmente apropiadas: son *analógicas*, con validez limitada tal vez a un tipo de experimento, o a un punto de vista muy particular. Insistiendo en aplicarlas de un modo general, nos encontramos con contradicciones entre el comportamiento esperado y la realidad experimental. Las cosas, al menos en el mundo de la microfísica, no son exactamente como nos las imaginamos.

Al profundizar todavía más en el estudio de la materia nos encontramos empujados a admitir lo inimaginable: nuestra experiencia sensorial no sirve para representar lo que la realidad es, sino de una manera tan imperfecta que resulta casi equívoca. Una «*cuarta dimensión*» espacial choca contra todos nuestros esfuerzos de visualización; el «*giro*» de una partícula elemental no tiene sentido cuando se afirma que no tiene radio alguno; la materia «*desaparecida*» en un agujero negro nos deja totalmente perplejos al intentar localizarla; el «*efecto túnel*» desafía todas nuestras intuiciones de lo que es el movimiento.

Una y otra vez tenemos que refugiarnos en palabras simbólicas o en ecuaciones matemáticas que describen algo fuera de nuestra experiencia: la ecuación de onda de Schrödinger para una «*probabilidad*», el «*color*» y el «*sabor*» de un quark; la diferencia entre neutrino y antineutrino...

También nos hemos encontrado con limitaciones semejantes en los conceptos filosóficos: ¿qué ES la carga localizante?; ¿el Tiempo?; ¿la misma materia? En cada caso nuestro deseo de una respuesta clara y expresable en términos conocidos nos lleva a la frustración: queremos conocer «*cosas*», y se nos dan *conceptos* apenas inteligibles.

Para explicar algo, recurrimos siempre a lo ya conocido. Pero este proceso necesariamente es limitado, porque no podemos conocer a la

materia intuitivamente, como conocemos la verdad de una identidad matemática; sólo la conocemos por su proceder y por analogías. Y como nada nos es mejor conocido en el orden extramental que la misma materia, no será nunca posible explicar su esencia en términos más intuitivos o imaginables. Podremos llegar, tal vez, a unos elementos básicos de todas las partículas, que reduzcan su multiplicidad actual a dos o tres componentes, con sus interacciones unificadas en una superfuerza de expresión matemática sencilla, pero seguirá eludiéndonos la comprensión de lo que *son* esos sillares básicos y de la *razón última* de su comportamiento y sus propiedades.

LÍMITES DE LA CIENCIA FÍSICA

Hemos visto también cómo la Física tiene un límite infranqueable en el misterio de la creación de la materia: no solamente se encuentra, como siempre, sin respuesta a las preguntas de finalidad y razón suficiente, sino que el «*cómo*» de la Creación deja de ser tratable como proceso físico al no tener un estado inicial ni leyes aplicables a la NADA. También aquí se da un límite absoluto a lo que puede ser descrito o entendido en forma intuitiva.

Otros límites de la Física en su propio campo son el resultado de la estricta aplicación de sus leyes: no podemos saber cómo es AHORA un objeto distante, porque toda la información que nos llega ha necesitado un tiempo para cubrir la distancia que nos separa: en 1987 nos llegó la noticia de la explosión de una estrella que se destruyó hace 170.000 años, y que habíamos observado durante muchos años sin sospechar que ya no existía. Las regiones más distantes del Universo pueden ser también inobservables, porque su luz aún no ha tenido tiempo de alcanzar nuestros instrumentos. Ni es cognoscible lo que ocurre en un agujero negro, ni lo que tuvo lugar en el Universo antes de que se hiciese transparente. En todos estos casos, nuestros cálculos son lógicos y plausibles, pero sus inferencias no pueden comprobarse directamente.

Todavía más en general tenemos que aceptar que no conocemos directamente el pasado ni el futuro, sino solamente el presente, aunque este presente sea la información que ahora nos llega desde épocas pasadas: los datos previos ya no son recuperables, y cualquier reconstrucción hacia atrás o predicción del futuro es siempre incompleta e insegura.

Al hablar de los sentidos hemos insistido en el carácter parcial de sus datos: son ventanas limitadas abiertas a un mundo donde hay mucho más que lo que ellos captan, aun sólo por comparación con lo que perciben otros animales o nuestros instrumentos. Pero toda nuestra ciencia es limitada en un modo semejante: únicamente puede tratar de los aspectos más «*materiales*» de la materia. Lo que no es cuantificable cae fuera de su área: una y otra vez hemos hecho notar tal limitación al tratar de los diverso temas: *tiempo, espacio, finalidad....*

Si ahora incluimos a la realidad del Hombre como parte del Universo, con toda la riqueza de fenómenos de conocimiento y actividad libre, es claro que la ciencia experimental no es suficiente para explicar ni siquiera *el propio quehacer científico*. Conceptos abstractos, sin propiedades materiales; las intuiciones y las grandes síntesis como la Relatividad y la Mecánica Cuántica o las ecuaciones de Maxwell; las geometrías no-Euclídeas y toda la Matemática pura, son realidades intangibles y tan ajenas a una explicación materialista como una sinfonía musical o un poema lírico. Recordemos que materia es «*todo y sólo lo que tiene una actividad explicable por las cuatro interacciones*». Y no es posible dar razón de la existencia ni del valor de lo que hemos mencionado por ningún tipo de atracción o transformación atribuíble a esas fuerzas.

¿QUÉ ES EL HOMBRE?

El Hombre es materia, sí. La materia de nuestro cuerpo se remonta al Big Bang, cuando el hidrógeno, tan abundante en nuestro organismo, formó parte ya de la nube primitiva e incandescente de hace 14 mil millones de años. Otros elementos más pesados tienen su genealogía en estrellas de gran masa, previas al Sol y formadas durante eones en el remolino de astros de la Vía Láctea. Es ceniza de estrellas lo que formó al planeta Tierra y se depuró durante miles de millones de años más para llegar a ser la estructura más asombrosa de la materia. Si una sola célula es más compleja que todas las galaxias, ¿qué debe decirse solamente del cerebro humano, con más de 10.000 millones de neuronas entrelazadas en forma indescriptible? Verdaderamente es la obra maestra de estructuración de la materia, la culminación de incontables pasos evolutivos que aún no comprendemos.

Se ha insistido a lo largo de la historia del pensamiento —en *monismos* opuestos— en reducir a la realidad total, incluido el Hombre, o bien a algo inmaterial (*idealismo*) o a pura materia y sus fuerzas (*materialismos* de

diversos tipos). En particular, al intentar explicar la inteligencia como resultado de procesos evolutivos, se habla de la consciencia y el pensamiento como un «*epifenómeno*» de la materia, fruto solamente de su mayor grado de complejidad en el cerebro del Hombre. A su vez se atribuye este desarrollo del cerebro a presiones de adaptación al entorno, con factores coadyuvantes como la postura bípeda y la utilización de las manos con capacidad prensil, mientras la estructura de la laringe permitiría el desarrollo de un lenguaje articulado y con él un mayor desarrollo de los lóbulos anteriores del cerebro. En forma más general se habla de que la inteligencia «*emerge*» espontáneamente de la materia cuando ésta alcanza un grado suficiente de complejidad en el sistema nervioso, concretamente cuando el cerebro llega a una masa suficiente con neuronas interconectadas en una trama más elaborada que la de ningún circuito electrónico.

Dejando aparte los idealismos, que apenas tienen seguidores, es necesario aclarar ideas y afirmaciones de tipo reduccionista-materialista, como las expuestas. Primeramente, no es correcto afirmar sin más que el mayor tamaño del cerebro es una consecuencia directa de la postura bípeda (no es aplicable el argumento a las aves), ni se debe exclusivamente a ella (el pulpo lo tiene más desarrollado que muchos vertebrados bípedos). Tampoco es claro que haya una relación causal entre la capacidad de manipulación y la masa encefálica, ni entre la posibilidad de sonidos articulados y el cerebro: una ardilla o un macaco puede manipular objetos mucho mejor que el perro o el delfín, y una cotorra puede articular sonidos suficientemente para «*hablar*» en forma inteligible en muchos idiomas, pero sin saber lo que dice.

Tampoco es demostrable que la cantidad de tejido cerebral tenga una relación directa con la inteligencia: no solamente no se verifica esto entre los diversos individuos de la humanidad (hay casos de inteligencia extraordinaria en sujetos hidrocefálicos) sino que hay especies en el mundo animal de una mayor masa encefálica, incluso con mayor número de circunvoluciones de la corteza cerebral que en el Hombre (por ejemplo, el delfín). Mientras que estos animales son «*inteligentes*» en el sentido analógico en que lo es un perro, que puede ser enseñado una serie de respuestas a estímulos diversos, no dan indicación alguna de *pensamiento abstracto* ni de sensibilidad artística o de conceptos de ética, todo lo cual es propio de la inteligencia estricta del Hombre.

El «*emergentismo*» de la inteligencia por proceso evolutivo cae en la petición de principio de *dar por supuesto* que no hay otra realidad que la materia y su estructuración. Como ya se ha indicado, no hay base alguna

para tal postura si examinamos lo que es el proceder propio de la materia y lo que es propio de la inteligencia. Nada puede «*emerger*» de donde no existe, ni en un nivel elemental. Hemos aceptado que la extensión, por ejemplo, sea una propiedad de conjunto aplicable a la materia, aunque cada una de las partículas últimas sean inextensas, pero en ambos casos se da una raíz común: *la ocupación de lugar*. En cambio no es posible afirmar ningún tipo de mínima *consciencia o inteligencia* para un electrón o un átomo, y por muchos que se reúnan en el cerebro, no podrán constituir un todo inteligente.

Dentro del campo de la informática se habla más y más de la *Inteligencia Artificial* como de algo ya existente y de desarrollo previsible hasta niveles que sobrepasen el entendimiento humano. Con un lenguaje antropomórfico, se menciona la «*memoria*» de ordenadores, a pesar de que la memoria, estrictamente, es una función de la consciencia, y de que lo único que se da en el ordenador es un almacén de señales magnéticas equivalente a las señales gráficas de papeles escritos en un fichero. Con el mismo tipo de lenguaje, se habla de ordenadores que ganan partidas de ajedrez como si fuesen más inteligentes que sus contrincantes humanos: lo único que puede decirse con exactitud es que tienen un programa formulado por un operador inteligente, y que se ejecuta en forma *inconsciente y ciega* por una máquina muy rápida. No hay, pues, inteligencia artificial en grado alguno, como *no hay consciencia artificial ni iniciativa ni intuición abstracta.*

Con respecto al futuro desarrollo de los ordenadores es lógico decir que lo que ahora no tienen *en grado alguno* no lo tendrán tampoco por mucho que se aumente el número de transistores y la velocidad de sus señales o la complejidad de sus conexiones. En este sentido se expresa Roger Penrose en su libro «*La Nueva Mente del Emperador*»: no hay Inteligencia artificial, ni es de esperar que la haya nunca.

Se han hecho afirmaciones opuestas basadas en la capacidad de una corriente eléctrica para producir imágenes con contenido de información, por ejemplo en un televisor. No es esto más indicio de inteligencia que el que la corriente eléctrica produzca las palabras de un texto en una máquina de escribir moderna: en ambos casos son señales controladas por un operador consciente e inteligente las que convierten una mezcla al azar de puntos oscuros y brillantes en algo inteligible para otro observador humano, *no para la máquina misma.*

Lo mismo hay que hacer notar con respecto al ejemplo tan abusado de la posible impresión de un texto literario por monos actuando al azar

durante suficiente tiempo con máquinas de escribir, o incluso respecto a la impresión automática de todos los textos posibles con un conjunto de símbolos de un alfabeto dado: el que el resultado tenga *sentido* (contenido de información) se debe a un previo proceso consciente de *invención de símbolos*, desarrollo de un lenguaje con palabras y sintaxis determinadas, y a la lectura de esos símbolos impresos por un lector *consciente y familiarizado con ellos*. No solamente es sin sentido lo que la máquina hace para la misma máquina, sino que lo sería para un lector sólo de español, por ejemplo, lo que estuviese escrito en hebreo.

Dentro de los organismos vivientes, incluido el Hombre, se da un paralelismo con los ordenadores electrónicos a un nivel inferior al de la inteligencia y la actividad libre: el *instinto* en todas sus formas, que no implica aprendizaje, pero que puede tener funciones verdaderamente admirables y de apariencia «inteligente», sobre todo en el uso de materiales como ayudas o instrumentos. Incluso un tipo de aprendizaje no comunicativo sino de mera imitación se encuentra de forma innata, instintiva, a diversos niveles de la vida terrestre. Recordemos la habilidad de una araña tejiendo su tela, o de los diversos pájaros al hacer sus nidos; las marmotas que utilizan piedras para romper las conchas de almejas; el «*enseñar*» a volar o nadar a las crías. En todos estos casos hay una «*programación genética*» interna, que se desarrolla inconscientemente, desde los primeros movimientos para alimentarse al nacer hasta los comportamientos complejos mencionados y otros muchos que podrían aducirse.

En el caso del Hombre apenas actúan estos programas genéticos si no es para las funciones fisiológicas necesarias para la supervivencia. Lo que es específicamente humano debe aprenderse por *transmisión cultural*, y varía según las culturas de distintos lugares y tiempos. Por eso, mientras es posible afirmar que los animales inferiores al hombre tienen comportamientos explicables por sola programación semejante a la de un robot muy complejo, la actividad intelectual y consciente exige un *nuevo principio* de otro orden.

Todo lo expuesto tiene importancia cuando se plantea la pregunta de la posible existencia de otros seres inteligentes en otros planetas dentro de la inmensidad del Universo. Ya se ha indicado que la materia es la misma y se rige por las mismas leyes en todo el cosmos, y que la vida es posible siempre que se den las condiciones adecuadas para la formación de macromoléculas de suficiente complejidad y actividad química. Pero de su *posibilidad* no es posible pasar a afirmar su realidad: no tenemos

datos, ni siquiera para calcular una *probabilidad* con visos de valor científico.

Menos científica todavía es la afirmación de que la vida evolucionará sin falta hacia la inteligencia «*porque la inteligencia tiene valor obvio para la supervivencia*». Se da aquí una suposición clara de que la materia por sí misma tiene lo necesario para producir consciencia e inteligencia: ya hemos visto que esto no es ni demostrable ni plausible. Y si la materia no puede dar lo que no posee, no vale afirmar el valor de supervivencia: también sería muy valioso el ser invisible a voluntad, pero no se ha dado ninguna evolución que lo consiga, aunque un mimetismo más o menos perfecto lleve a resultados parecidos en algunos casos, como lleva el instinto a una imitación del proceder inteligente.

De darse vida inteligente en otros mundos se seguiría, una vez más, la presencia de una dualidad *espíritu-materia*, que corresponde a la definición del ser humano, «*animal racional*». Todo lo dicho con respecto a la especie humana sería aplicable a estos otros seres hipotéticos, cualquiera que fuese su forma o su metabolismo.

El último comentario sobre el lugar del Hombre en el Universo nos induce a considerar el papel de los diversos niveles de estructura en la determinación de lo que es posible según las leyes físicas. Todas las células vivientes son aproximadamente del mismo tamaño: no parece posible reducirlas sin que dejen de ser viables. La complejidad del cerebro exige, por tanto, un organismo de suficiente volumen para albergar miles de millones de neuronas: no puede darse inteligencia en un insecto o un ratón. Por otra parte, cuando el volumen del cuerpo excede un límite impuesto por la gravedad, los miembros necesarios para la locomoción tienen que ser más de dos, y muy robustos, con la consecuente dificultad de tener miembros manipulativos de fácil uso.

Los biólogos que estudian el metabolismo como función de la masa de cada animal pueden también argüir convincentemente en el sentido de que el Hombre, a mitad de la escala entre los cúmulos de galaxias y el núcleo atómico, es en muchas maneras la obra cumbre de la Creación, en que la materia se eleva sobre sí misma y, unida al espíritu, llega a conocerse y conocer el Universo en que se encuentra. En ese conocimiento y en la libertad que lo acompaña, reside nuestra grandeza.

Apéndices

Materiales que complementan la asignatura con datos científicos, históricos o filosóficos

APÉNDICE I

EL ESPACIO DE LA RELATIVIDAD

A pesar de que la Física moderna ha rechazado el espacio absoluto ocupado por un «éter» dotado de propiedades mecánicas (experimento de Michelson y Morley, Cleveland 1887), se incluye en la descripción de la totalidad material un «espacio vacío» con propiedades electromagnéticas y geométricas, que *no se identifica* con la NADA. Por su constante dieléctrica y su permeabilidad magnética determina la velocidad **c** de todas las ondas de carácter electromagnético. Por sus propiedades geométricas, función de su contenido de masa, determina las órbitas de cuerpos en movimiento e incluso las trayectorias de la luz.

En la Mecánica de Newton se daba por supuesto que el espacio tenía una estructura descrita correctamente por la Geometría tridimensional de Euclides, y esta misma suposición se aplicaba al espacio lleno de éter: sería posible construir en él toda clase de figuras planas euclídeas en cualquier orientación que se eligiese. En la Teoría Generalizada de la Relatividad se afirma, por el contrario, que la presencia de masa «arruga» al espacio, de modo que ya no es posible trazar en él líneas rectas, planos, etc. Esta deformación es más intensa en la vecindad de masas mayores, y disminuye con la distancia. Así se geometriza la fuerza de la gravedad, que deja de ser una fuerza en el sentido primitivo.

Las predicciones de la Relatividad difieren de los cálculos de Newton para órbitas y trayectorias de la luz, aunque en cantidades mínimas. En 1919 se comprobó la desviación de rayos de luz casi tangentes al Sol durante un eclipse total; la órbita de Mercurio recibió una explicación correcta de su avance del perihelio (punto de la órbita más próximo al Sol) en 43" de arco por siglo. Más recientemente, se midió el retraso de ondas de radar reflejadas de Mercurio cuando éste se encuentra en el lado opuesto del Sol, y se han conseguido imágenes múltiples y distor-

sionadas de galaxias y quasares por efecto de «lente gravitatoria». En todos estos casos las medidas han dado la razón a Einstein, sin que haya nada que se oponga a su explicación geométrica.

El que un espacio tridimensional presente las características propias de superficies curvas en cortes de diversa orientación exige admitir que el espacio *es curvo*. Para ello es necesario admitir una cuarta dimensión más, *espacial* también y perpendicular a las otras tres, pero no detectable ni imaginable, que permite también concebir un Universo finito pero ilimitado y sin un espacio «*más allá*», porque no tiene bordes.

En esta concepción el espacio (y el Tiempo) están íntimamente ligados a la materia, y no puede hablarse de espacio anterior o posterior a la materia. Es más correcto decir que el espacio ES materia, e incluso identificar a las partículas y la energía con las deformaciones del espacio.

ESPACIOS FÍSICO-MATEMÁTICOS

Para entender mejor estos conceptos conviene recordar que el lenguaje de la Física y la Matemática no siempre coincide con el lenguaje ordinario:

Se llama «*espacio*» de una dimensión a una representación matemática de la realidad o de uno de sus aspectos en que la posición de un punto queda determinada por un solo número, que mide la distancia de un origen dado.

Así el espacio de una dimensión será «*plano*» si existe sólo en esa dimensión; *curvo* si exige para existir una dimensión más, perpendicular a la primera (a lo largo de la cual se definían las posiciones). Como en este caso la distancia se mide a lo largo de una curva, la recta ya no es el camino más corto entre dos puntos: no hay rectas.

En un espacio de dos dimensiones se requieren y bastan *dos números* para marcar la posición de un punto con respecto a ejes que se cruzan (generalmente en ángulo recto: coordenadas cartesianas en un plano). Así tenemos una superficie que será un *espacio plano* si en él se cumple la geometría Euclídea:

— la distancia más corta entre dos puntos es una recta.
— por un punto exterior a una recta puede trazarse *una y sólo una* recta que jamás corta a la primera (paralela a ella).
— la suma de los ángulos interiores de un triángulo es igual a dos rectos.

— se puede construir un cuadrado midiendo sucesivamente cuantro segmentos rectos iguales que forman ángulos rectos entre sí.
— la razón de la circunferencia al diámetro es π, y la del área del círculo al cuadrado del radio es también π.
— la circunferencia es siempre directamente proporcional al radio.

Todas estas afirmaciones dejan de cumplirse si el espacio bidimensional es curvo, deformándose hacia una tercera dimensión perpendicular a las otras dos, ya sea la curvatura positiva (como en un superficie esférica) o negativa (silla de montar). La curvatura positiva da lugar a espacios finitos pero ilimitados: la superficie terrestre es un ejemplo; curvaturas negativas, en que dos radios se encuentran en lados opuestos de la superficie curva, pueden ser finitas (un toroide de revolución) o «infinitas» (sin área limitada, como una silla de montar extendida indefinidamente).

Un espacio tridimensional exige *tres números* para determinar la posición de un punto con respecto al origen. Será *plano*, aun con tres dimensiones, si en cualquier orientación se pueden dar espacios bidimensionales en que se verifica la geometría de Euclides plana, y si en su volumen se cumple también la geometría equivalente de cuerpos sólidos. En cambio tendremos un espacio tridimensional curvo si ocurre lo contrario. Si el espacio curvo no es *isotrópico*, una orientación nos dará propiedades distintas de otra.

La curvatura tridimensional puede también ser positiva o negativa, siempre exigiendo *una dimensión espacial más*, perpendicular a las otras tres, para existir. La curvatura positiva permite un *volumen* tridimensional finito pero ilimitado, sin bordes: es la *cuasi-superficie de una hiperesfera inimaginable.*

En la Relatividad Restringida, el espacio es plano, sin distorsiones debidas a la presencia de masa, aunque aparece una cuarta coordenada que *contiene* al tiempo multiplicado por la velocidad de la luz y el *número imaginario I (raíz cuadrada de -1)* con lo cual tenemos dimensionalidad de *espacio no real*, que sirve para situar «*sucesos*» en el espacio-tiempo:

$$\text{coordenadas: } x, y, z, ict \text{ ; invariante: } ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2t^2$$

En cambio, en la Relatividad Generalizada, el espacio se curva, y el radio de una esfera, como el Sol, sería distinto medido directamente y calculado por su superficie:

$$\text{Exceso de radio} = R_{medido} - R_{calculado} = GM/3c^2 \; (R_{calculado} = \sqrt{\text{Area}/4\pi})$$

de tal manera que el radio medido para el Sol sería 0,5 km más largo.

Para cualquier campo gravitatorio, tanto Newtoniano como Relativista, se calcula una velocidad necesaria para que un cuerpo lanzado radialmente desde la superficie nunca vuelva a caer sobre la masa esférica que atrae al proyectil: es la velocidad de escape, dada por la fórmula

$$v = \sqrt{(2GM/R)} \text{ para masa M dentro de radio R}$$

Si la velocidad de escape llega a ser la de la luz, $\mathbf{v = c}$, la luz misma no puede salir definitivamente del campo gravitatorio, y en el caso Newtoniano, no puede verse a una distancia ilimitada. Pero en la Relatividad ocurre algo distinto: se forma un «*horizonte de sucesos*» determinado por el radio que corresponde a esa velocidad de escape (radio de Schwarzschild),

$$R_s = R_{schwarzschild} = 2GM/c^2$$

y nada de lo que ocurre dentro de ese radio es observable desde fuera, porque todos los rayos luminosos originados en el interior tienen trayectorias que se cierran sobre sí mismas. Este es el concepto de «*agujero negro*» en que el horizonte de sucesos es como una membrana semipermeable, que permite la entrada de materia y radiación sin límite, pero no la salida. En términos de este radio de Schwarzschild, la curvatura del espacio a una distancia r del centro viene dada por

$$R_{curvatura} = \sqrt{r^3} / R_s$$

de modo que, por ejemplo, el radio de curvatura del espacio-tiempo en la superficie terrestre, debido a la masa de la Tierra, es comparable a la distancia Tierra-Sol. El radio de un agujero negro con la masa de la Tierra sería solamente de 2 cm, mientras que para el Sol, $R_s = 3$ km.

Agujeros negros se deben formar naturalmente al final de la evolución de estrellas de gran masa (20 veces la del Sol o más), cuando el núcleo de la estrella, sin fuentes ya de energía que contrarresten su gravedad, excede 3 masas solares. Varios casos muy probables son ya conocidos en sistemas de estrellas dobles. Agujeros negros con masa equivalente a millones o aun miles de millones de veces la del Sol parecen

necesarios para explicar los movimientos de estrellas y la producción variable de enormes energías en el centro de quasares y muchas galaxias, incluyendo la Vía Láctea.

La materia que desaparece en un agujero negro debe, en teoría, continuar indefinidamente su proceso de contracción (no observable). Pero la «*radiación de Hawking*» por efecto túnel permite la lentísima *evaporación* del agujero negro: con la masa de una montaña, un mini-agujero negro hipotético (de tamaño nuclear) se evaporaría en unos 15 eones (edad actual del Universo). Una descripción equivalente explica este proceso como el resultado de la formación espontánea de pares de partículas y antipartículas a partir de la energía del campo gravitatorio del agujero negro.

Si uno de los componentes del par cae al agujero, el otro sale despedido hacia fuera, llevando una parte de la energía (y, por tanto, de la masa) que formaba el agujero negro. Así termina por perderse toda su masa en un proceso tan lento que la edad actual del Universo es totalmente insignificante cuando se trata de masas superiores a la del Sol.

Especulaciones físico-matemáticas han dado pie a afirmaciones de que la entrada en un agujero negro giratorio (tipo Kerr) podría realizarse sin destrucción de la materia, aun macroscópica, que desaparecería de nuestro entorno espacio-temporal para aparecer posiblemente en otro espacio y tiempo. Tales «agujeros de gusano» conectarían regiones muy distantes entre sí por un atajo a través de la cuarta dimensión, permitiendo viajes a otros sistemas planetarios en forma casi instantánea. El análisis científico y matemático en forma rigurosa permite concluir que tales sugerencias no corresponden a la realidad.

APÉNDICE II

DATOS CUANTITATIVOS

Los sistemas de medidas para cualquier magnitud dependen de la selección arbitraria de unidades, con las cuales se comparan los objetos o propiedades de ellos que queremos medir. En el mundo científico actual se usa el sistema internacional, S I, basado en el *metro, el kilogramo y el segundo* (mks). Todavía se encuentran muchas veces las unidades del sistema *centímetrogramo-segundo*, (cgs), y algunas unidades especializadas derivadas de ambos. En Astronomía se hace necesario recurrir a unidades enormemente mayores, sobre todo para expresar distancias; en este caso se habla de «tiempo de viaje» calculado para la velocidad máxima del Universo, la velocidad de la luz en el vacío: la unidad correspondiente es el *año-luz*, equivalente a unos 10 billones de kilómetros (10^{13} km).

Las cifras excesivamente grandes o pequeñas, que suelen redondearse o por conveniencia o por márgenes de error inherentes a su determinación, se hacen más manejables con la notación exponencial, usando *potencias de 10*, en que el exponente indica el número de ceros que siguen al 1 (potencias positivas) o que le preceden al escribir decimales (potencias negativas). Así:

$100.000.000 = 10^8$; $60.000 = 6 \times 10^4$; $0{,}00001 = 10^{-5}$; $0{,}002 = 2 \times 10^{-3}$

Utilizando esta notación, es instructivo dar valores importantes del mundo físico:

Radio de la Tierra:	$6{,}37 \times 10^3$ km	Circunferencia:	4×10^4 km
Masa " " "	$5{,}97 \times 10^{24}$ kg	Densidad (agua=1):	5,5
Distancia al Sol:	$1{,}5 \times 10^8$ km	Velocidad orbital:	30 km/seg.

Aproximadamente, el radio del Sol es un poco más de 100 veces el terrestre, mientras el de la Luna es ¼ del de la Tierra. Entre el Sol y la Tierra se podrían colocar 100 soles. El volumen del Sol es 1,3 millones de veces el de la Tierra, pero su masa es solamente unas 330.000 veces más: su densidad es por tanto, mucho menor (1,4 veces la del agua como término medio, aunque alcanza más de 10 veces la del plomo en los gases supercalientes de su núcleo a 15 millones de grados).

Desde el Sol a la Tierra, la luz tarda 8 minutos. Del Sol a Plutón, (el planeta más lejano), 5 horas y media. Desde la estrella más cercana, Alfa del Centauro, 4,3 años: la estrella está a 4,3 años-luz, más de 40 billones de kms.

El sistema solar se encuentra a unos 2/3 del radio del gran remolino de estrellas que llamamos la *Vía Láctea*, nuestra Galaxia. Su diámetro es de unos 100.000 años-luz, y contiene más de 100.000 millones de estrellas equivalentes al Sol. El Sol arrastra a los planetas en su órbita alrededor del núcleo de la Galaxia, dando una vuelta en unos 250 millones de años.

A 2,24 millones de años-luz está la *galaxia de Andrómeda*, un 50% mayor que la Vía Láctea, y nuestra vecina más cercana de tamaño comparable. Al alcance de nuestros telescopios actuales hay unas 10^{11} galaxias, estructuradas en grandes cúmulos y super-cúmulos, con miles de galaxias en filamentos o burbujas de unos 300 millones de años-luz como dimensión típica.

El radio del Universo conocido es del orden 10^{23} km, unos 10^{10} años-luz. Su masa, alrededor de 10^{53} kg, con una densidad equivalente a casi *un gramo en un volumen igual al de la Tierra*, aunque se sospecha que hay mucha más masa oscura y aún desconocida en su composición.

Como ayuda imaginativa para darnos cuenta de qué enormemente vacío de masa visible es el Universo, podemos utilizar la siguiente comparación a escala:

Si el Sol tuviese una *décima de milímetro* de diámetro (menos que un punto ortográfico en esta página),

— la distancia Tierra-Sol sería	1 centímetro
a la estrella más próxima	2 km
— el diámetro de la Vía Láctea	60.000 km
— la distancia a Andrómeda	1.5 millones de km
— el radio del Universo observable	50.000

En el mundo de lo pequeño, una bacteria tiene aproximadamente un tamaño de 3 millonésimas de metro (*micras*). Un virus es 30 veces menor,

y ese es el orden de magnitud de una longitud de onda de luz visible. Rayos X tienen longitudes de onda hasta 50.000 veces más cortas, mientras las ondas de radio llegan a decenas de km de cresta a cresta.

El tamaño típico de un átomo, medido por la órbita de sus electrones más externos, es de un radio de una 10.000-millonésima de metro. La masa del átomo está casi exclusivamente en el núcleo, con una densidad de 10^{15} veces la del agua y un radio de una mil-billonésima de metro. La materia llamada «sólida» es tan vacía que si fuese posible poner en contacto los núcleos de todos los átomos que forman la Tierra, su radio sería solamente de 200 m. Es la situación que ocurre en «*estrellas neutrónicas*», resultado de la evolución de estrellas de gran masa: una masa comparable a la del Sol se encuentra en una esfera de 10 a 20 km de radio, con densidad central como la del núcleo.

La producción de energía de una estrella como el Sol se debe a la conversión nuclear de H a He, con pérdida de masa. El Sol brilla con una potencia de 400 cuatrillones de watios, perdiendo cada segundo 4 millones de toneladas de masa. Las estrellas más brillantes alcanzan una luminosidad de un millón de veces la del Sol, aunque su masa es sólo unas 60 veces más, por lo cual se agotan mucho más rápidamente. Las estrellas más débiles, con masa de apenas un 10% de la del Sol, brillan 100 mil veces menos, pero duran tiempos enormemente más largos. Estas son las más abundantes, aunque es difícil verlas por ser de tan débil luminosidad.

En el Sistema Solar conocemos 9 planetas y más de 50 satélites, además de millares de otros cuerpos menores en órbitas independientes (asteroides, cometas, etc). No es posible todavía detectar planetas *directamente* alrededor de ninguna otra estrella, aunque se infiere su existencia en varios casos por las perturbaciones que su gravedad causa en el movimiento de una estrella visible. Así se admite ya un total de más de 30 planetas extra-solares alrededor de estrellas en un radio de 50 años-luz; parece muy probable la existencia de planetas alrededor de una mayoría de las estrellas en general.

APÉNDICE III

ESQUEMA HISTÓRICO DEL DESARROLLO DE LAS CIENCIAS

Mitos: respuesta primitiva al problema del origen y formación del Universo y del hombre. Rasgos comunes:

— Sustrato caótico preexistente.
— Generaciones de dioses que luchan entre sí.
— Formación del universo material y del hombre a partir de los despojos de los vencidos.

Así: mito babilónico (Código de Hammurabi, 1750 a.C.), Teogonia griega de Hesíodo, Epopeya escandinava del Edda.

Desmitificación: *religiosa*, en el pueblo judío. Trascendencia divina.

Científica, en Grecia. La pregunta acerca del origen del Universo da paso a la pregunta de su constitución material y funcionamiento físico.

DESARROLLO DE LA ASTRONOMÍA

La ciencia más antigua y de interés más universal. Nos fijamos en tres actitudes distintas de los pueblos euroasiáticos que han influido en la cultura occidental.

Asiria-Babilonia: determinación del mes lunar. Años de doce o trece meses lunares. Observación cuidadosa de los movimientos de los planetas, dándoles significados astrológicos. Existen tablas del siglo VII a.C.

Caldea: continúa la tradición asiría, pero sin subrayar lo astrológico. Determinan las constelaciones recorridas por la Luna. Calculan eclipses. Función religiosa, sin contenido de ciencia natural. Desaparece en el siglo I.

Egipto: la astronomía como auxiliar de la geometría y la ingeniería. Año conocido en su duración exacta. Relojes de sol. Constelaciones, algunas que coinciden con las que hoy usamos. Explican la reaparición diaria del Sol en el Este mediante un viaje nocturno por un canal subterráneo de Oeste a Este.

Hebreos: rechazan la astronomía, conocida solamente como astrología de origen caldeo. Mundo como encerrado en una burbuja, rodeado de agua.

Grecia: origen de la astronomía como ciencia, en la que las observaciones sirven de base para explicaciones físico-matemáticas. Se proponen modelos cada vez más refinados para dar cuenta de los fenómenos observables.

— Tales de Mileto (c. 625 a.C.). Según Aristóteles, sostuvo que todo está hecho de agua, en la que la Tierra flota.

Tiene la importancia de buscar un principio único, posiblemente verificable por experimentación. Considera todo lo existente como un organismo. Su problema: obtener la variedad observable a base de un elemento único.

— Anaximandro: propone la forma cilíndrica para la Tierra para explicar el cambio aparente de altura de las estrellas al viajar de Norte a Sur. En física, propone un principio único que es lo indeterminado, que puede luego sufrir un proceso de diferenciación.

— Anaximeno (siglo VI a.C., como el anterior). Propone al aire como principio único, diferenciable por condensación y rarefacción.

— Pitágoras (Samos, siglo VI a.C.). Probablemente el primero que sostuvo que la Tierra es esférica, y que el lucero vespertino y el matutino son el mismo. La escuela pitagórica subraya las relaciones matemáticas, divinizando los números, a partir de los intervalos musicales. Sistema astronómico basado en esferas y movimientos circulares de los planetas contra el fondo de las estrellas fijas. Los miembros más notables de la escuela son:

— Parménides: afirma que la Luna brilla con luz reflejada, no propia.

— Anaxágoras (siglo V a.C.): el Sol es una esfera de fuego; la Luna, de tierra. Da una explicación de los eclipses de sol y luna.

— Filolao (siglo V a.C.): da el gran paso de sugerir un movimiento *de la Tierra* para explicar el giro aparente diurno de la esfera de las estrellas. Propone la existencia de un fuego central, siempre invisible para nosotros por ocultarlo la Anti-Tierra. Así obtiene el número perfecto de cuerpos astronómicos (10, contando la esfera de las estrellas fijas como uno). Música de las esferas que manifiesta la armonía del cosmos.

— Demócrito: sugiere que la Vía Láctea es una banda de innumerables estrellas.

— Platón: insiste en la esfericidad de la Tierra y en el movimiento circular de todos los astros por razones puramente filosóficas, de perfección. Su discípulo Eudoxo propone el primer modelo astronómico detallado: un sistema de esferas múltiples con movimientos ajustados para producir los fenómenos observados en el movimiento de los planetas (27 esferas).

— Aristóteles da realidad a esas esferas e introduce otras (55 en total). Da razones filosóficas y experimentales para probar que la Tierra es esférica. Introduce las ideas de «movimiento natural» e incorruptibilidad.

Contemporáneo de Aristóteles (siglo IV a.C.), Heráclides del Ponto perfecciona las ideas de Eudoxo y Filolao, introduciendo la rotación de la Tierra y haciendo al Sol el centro de las esferas de Mercurio y Venus (algo semejante a lo propuesto por Ticho Brahe siglos después).

ESCUELA DE ALEJANDRÍA

— Aristarco (siglo III a.C.): mide el tamaño de la Luna con relación a la Tierra, y su distancia en diámetros terrestres. Primer intento de medir también la distancia al Sol. Sistema heliocéntrico.

— Eratóstenes (siglo III a.C.): primera medida real y muy exacta del diámetro de la Tierra (arco de círculo entre Asuán y Alejandría).

— Hiparco (siglo II a.C.): el astrónomo más famoso de antes de la era cristiana. Desarrolló la trigonometría, hizo observaciones numerosas y exactas, construyó un observatorio e instrumentos con los cuales midió las posiciones de 850 estrellas, dejando así el primer catálogo celeste de valor científico. Inventó la clasificación en magnitudes; descubrió la precesión de los equinocios; obtuvo con gran exactitud la distancia y tamaño de la Luna. Inventa el sistema de ciclos y epiciclos para explicar los movimientos aparentes de los planetas.

— Tolomeo (siglo II era C.): el ultimo gran astrónomo griego. Compiló el saber astronómico griego en los 13 volúmenes del Almagesto. Perfeccionó las observaciones y sistema de Hiparco, introduciendo órbitas excéntricas. Su sistema perdura hasta Copérnico.

En los 13 siglos que siguen a la muerte de Tolomeo, los únicos que continúan las observaciones astronómicas son los árabes e indios. Estos, a partir del año 300, consiguen medir también con exactitud la distancia

a la Luna, pero su desarrollo científico es sobre todo matemático. Los árabes actúan como transmisores de la cultura antigua a la Europa medieval, retinando al mismo tiempo el sistema de Tolomeo. Pero es también la matemática el campo en que sus contribuciones son más importantes.

DESARROLLO DE LA CIENCIA: MATEMÁTICAS

Grecia: la matemática toma sobre todo el camino de la geometría, debido a la falta de un lenguaje simbólico para las operaciones aritméticas y algebraicas (no hay símbolos para el cero, o números negativos, o cantidades mayores que 10.000).

— Pitágoras: relaciones numéricas en la música. Teorema de su nombre para los lados de un triángulo rectángulo.

— Platón: su insistencia en las «formas» como la verdadera realidad realza el valor de la geometría.

— Eudoxo, su discípulo, desarrolló muchos de los teoremas que después recogió Euclides (primer director de la Escuela de Alejandría),

— Euclides (siglo III a.C.): recoge el saber matemático de su tiempo, presentándolo en forma lógica, a base de axiomas y deducciones. La geometría euclídea es todavía la base de lo que se estudia hoy día a nivel elemental. En álgebra consigue la solución de ecuaciones de segundo y tercer grado por medios geométricos. Teorema de la existencia de infinitos números primos. Eratóstenes inventó su «criba» para hallar los números primos.

— Arquímedes (siglo III-II a.C.): originó la geometría diferencial y el cálculo de volúmenes por un método semejante al cálculo integral. Halló el área de un segmento de parábola. Famoso por su principio de hidrostática.

— Apolonio de Pérgamo (siglo II a.C.): investigó las secciones cónicas, llegando a dar las ecuaciones de esas curvas (expresadas en lenguaje geométrico).

— Hiparco (siglo II a.C.): primera tabla de funciones trigonométricas (senos).

Durante nuestra era se desarrolla la trigonometría esférica (siglo I); por métodos geométricos se extraen raíces cuadradas y cúbicas, se comienza el estudio de progresiones aritméticas y geométricas y se formula el problema de encontrar soluciones con números enteros para ecuaciones diversas (Diofante, siglo III-IV). Este fue un comienzo de desa-

rrollo del álgebra, en que Diofante llega a usar letras como símbolos de cantidades desconocidas. Pero el declinar de la cultura greco-romana impide su desarrollo ulterior.

India y China: a partir del siglo V a.C. se desarrollan el álgebra y la aritmética, con símbolos para extracciones de raíces, números negativos e irracionales, librándose así de métodos puramente geométricos. A los indios debemos nuestro sistema de numeración, lenguaje importantísimo en el desarrollo de la matemática. Los avances de indios y chinos llegan a Europa a través de los árabes:

— Alkarismi (Mohamed ibn Musa abu Djefar al-Khwarizmi, siglo IX). Su tratado de álgebra se llama Al-gebr al-muqabala, o sea, «transposición y simplificación», indicando así las operaciones principales del álgebra. Introduce en Europa la numeración india. Plantea y resuelve la ecuación de segundo grado con dos raíces. De su nombre y del de su obra vienen las palabras álgebra, algoritmo y guarismo.

— Alkaizami (siglo XI): se plantea el método de resolver ecuaciones cúbicas. A partir de este siglo, la mayoría de los autores árabes no hace sino repetir.

La obra de Alkarismi fue traducida por Leonardo de Pisa en el siglo XII, y así se introduce el álgebra en Europa.

A partir del escolasticismo se separan la filosofía y la ciencia, quedando el método matemático para ésta y desarrollándose una filosofía de la naturaleza como rama de la metafísica. Sus pasos más importantes se mencionan en el esquema siguiente.

DESARROLLO DE LA FÍSICA Y FILOSOFÍA DE LA NATURALEZA

Ya hemos mencionado los esfuerzos de Tales, Anaximandro y Anaximeno para encontrar un constituyente o principio único de toda la variedad de las cosas materiales. Una tendencia más filosófica que física se encuentra en Jenófanes (siglo VI-V a.C.): la variedad se reduce a la unidad gracias al LOCOS, principio ordenador mental. Las cosas son porque son inteligibles. Su contemporáneo Heráclito toma como su divisa el fluir de todo lo aparente, indicio de su falsedad, contrapuesta a la permanencia y unidad del Logos. Afirmó un proceso cíclico universal.

— Parménides (siglo V a.C.): le preocupó el problema del ser y no-ser, y la posibilidad del cambio. La experiencia de los sentidos es engañosa al presentar el cambio como real. La realidad racional es una.

— Zenón, su discípulo, presentó como argumentos contra la realidad del cambio sus famosas «aporías» contra el movimiento local.

— Escuela Atomística: de una forma más o menos elaborada, sostiene que todos los seres materiales se componen de elementos mínimos indivisibles.

— Empédocles (siglo V a.C.): probablemente el originador de la doctrina de los cuatro elementos: aire/ agua, tierra y fuego. Todos los cambios resultan del juego de dos fuerzas: amor y odio.

— Pitágoras y sus discípulos, al identificar los números con puntos matemáticos, introducen también una especie de atomismo ideal.

— Leucipo (siglo V a.C.) es el fundador del Atomismo físico. El universo se compone de un número infinito de elementos cuantitativamente distintos.

— Demócrito, su discípulo (siglo IV a.C.), continúa esta teoría atómica, sistematizándola. Los átomos se distinguen entre sí por cualidades puramente mecánicas: tamaño, peso, forma y velocidad; su movimiento es posible por estar rodeados de vacío (no-ser). Las cualidades sensibles de los cuerpos son solamente algo subjetivo, pues en la realidad sólo existen las cualidades ya mencionadas de los átomos.

— Platón, centrando su interés en el mundo de las ideas —«formas»—, influyó positivamente en el desarrollo de la matemática, pero su desprecio por el mundo sensible imposibilita las ciencias experimentales.

— Aristóteles fue un gran observador y científico, al mismo tiempo que filósofo. Su filosofía de la naturaleza se basa en la dualidad materia-forma. Esta forma no es algo abstracto, como para Platón, sino como un constitutivo físico de las cosas mismas. Este teoría Hilemórfica es aceptada más tarde por la Escolástica, perdurando hasta nuestras días.

Aceptó los cuatro elementos de Empédocles, pero añade un nuevo elemento de mayor perfección, inmutable e incorruptible, del cual están formados los astros. Explica los fenómenos naturales por tendencias innatas, un poco antropomórficamente, ya que para él la primacía en el orden causal la tiene la causa final. Así, los cuerpos pesados caen por su tendencia a buscar su «lugar natural», que es abajo; la caída acelerada muestra el «gozo» de los cuerpos al acercarse a su lugar natural. Los astros se mueven en círculos, porque el círculo es el movimiento natural de los cuerpos supraterrestres. Como los cuerpos pesados —«graves»— tienen como estado natural el reposo, un movimiento continuo exige una fuerza continua. Niega la posibilidad del vacío, hacia el que la naturaleza siente una repulsión innata; niega el atomis-

mo, porque todo cuanto existe tiene que ser macizo, continuo, nunca inextenso.

Abandonó la descripción matemática de los fenómenos, insistiendo en cambio en el método deductivo. Esta actitud es exagerada por muchos escolásticos, a través de los cuales el aristotelismo fue una barrera a nuevas ideas.

DESARROLLO CIENTÍFICO DE LA EDAD MEDIA

A partir de los siglos XI y XII se desarrolla la Escolástica, que en las nuevas Universidades presenta la visión científico-filosófica de Aristóteles. En astronomía/ el sistema de Tolomeo se da por indudablemente cierto; en física, el hilemorfismo se hace casi dogma, así como la concepción finalista y cualitativa del mundo.

Roger Bacon y Alberto Magno (ambos siglo XIII) son los representantes casi únicos de un interés por las ciencias experimentales, opuesto al dogmatismo de los seguidores e intérpretes de Aristóteles. Bacon construyó lentes de aumento, estudió las propiedades de la luz, inventó una forma de pólvora y catalogó los errores del calendario juliano. Alberto Magno estudió los metales y elementos inorgánicos, observó el cometa de 1240, y, en general, insistió en el estudio experimental.

En el siglo XIV la «Escuela del ímpetus» modifica la parte más débil de la física aristotélica: el movimiento de proyectiles y caída de los cuerpos. Juan Buridan, Alberto de Sajonia y Nicolás de Oresmes proponen un concepto precursor del momento (masa x velocidad) de la física moderna: un cuerpo puesto en movimiento continúa en movimiento cuando la fuerza motriz ya ha dejado de actuar porque ha recibido un «ímpetu» —cualidad interna— proporcional a la cantidad de materia del cuerpo (factor masa del momento).

EL RENACIMIENTO: REVOLUCIÓN CIENTÍFICA

El gran cambio de la atmósfera científica comienza con la obra astronómica de Nicolás Copérnico (1473-1543). Usando todos los datos experimentales de Tolomeo y los árabes, formula un sistema heliocéntrico para obtener una representación matemáticamente más sencilla de los movimientos de los planetas. Así elimina los epiciclos; pero su sistema no es más exacto que el de Tolomeo en la representación de los fenó-

menos, porque mantiene todavía las esferas y el movimiento circular. Más que por sus aportaciones al cálculo exacto de órbitas, el sistema de Copérnico tiene importancia filosófica por cambiar el punto de vista tradicional: ahora la Tierra es un planeta más, probablemente hecho de la misma materia que los otros. Y el universo debe ser inconcebiblemente vasto, pues la órbita de la Tierra alrededor del Sol no produce ningún cambio apreciable de perspectiva en la posición de las estrellas.

Tycho Brahe (1546-1601) fue un gran astrónomo experimental. En la isla de Hven, en Dinamarca, tuvo a su disposición el primer observatorio astronómico de Occidente, equipado con los instrumentos más exactos, muchos diseñados o perfeccionados por él. Propuso un sistema del mundo en el que la Tierra es todavía el centro, pero todos los demás planetas giran alrededor del Sol, que los arrastra en su órbita alrededor de la Tierra. La gran contribución de Tycho fue el dar sus cuadernos de observaciones cuidadosas a su colaborador y sucesor Kepler.

Johann Kepler (1571-1630) utilizó todos los datos de Tycho para probar el sistema heliocéntrico de Copérnico. Eliminó definitivamente las esferas, hablando en cambio de las órbitas planetarias. Y formula las leyes del movimiento de los planetas:

1. *Las órbitas son elipses (venciendo al fin la obsesión del círculo).*
2. *El radio del planeta al Sol cubre áreas iguales en tiempos iguales.*
3. Los *períodos orbitales al cuadrado son proporcionales a las distancias planeta-Sol al cubo.*

Aunque Kepler no sabe a qué se debe el movimiento de los planetas alrededor del Sol, ya afirma que del Sol procede la causa de ese movimiento, tal vez como una fuerza magnética.

Galileo (1569-1642): es el símbolo de la lucha entre las ideas modernas y el apego ciego a la autoridad tradicional aristotélica. Sus contribuciones científicas son dobles: en astronomía fue el primero en aplicar el telescopio a la observación del cielo. Inmediatamente, descubre los cráteres y montañas de la Luna y las manchas del Sol, destruyendo el mito de la «quinta esencia» e incorruptibilidad de los cuerpos celestes. Al descubrir los satélites de Júpiter, muestra que hay astros que no giran alrededor de la Tierra. Las fases de Venus indican su órbita alrededor del Sol. Estos datos van directamente contra la filosofía natural de Aristóteles y sus seguidores. Galileo sufrió persecución sobre todo por enseñar el movimiento de rotación de la Tierra, aunque sus argumentos no son científicamente válidos.

El segundo campo en que Galileo trabajó, como resultado de su condena por la Inquisición, fue la mecánica, y aquí sus contribuciones teóricas revisten la mayor importancia. Demuestra que el espacio recorrido por un cuerpo en movimiento acelerado (caída libre) es proporcional al cuadrado del tiempo. Prueba también —contra Aristóteles— que cuerpos de diverso peso caen a la misma velocidad, y que los fenómenos mecánicos ocurren exactamente del mismo modo en un laboratorio en reposo o en movimiento uniforme. Prueba también la continuación del movimiento en la ausencia de roce, y da los conceptos exactos de velocidad y aceleración.

Con Galileo comienza la física matemática, cuantitativa. Expresando las leyes físicas en forma matemática, se hace posible el cálculo y la predicción y comprobación rigurosa de hipótesis. Este es el camino que llevará a los grandes triunfos de Newton, nacido el mismo año en que muere Galileo.

Antes de Newton, Rene Descartes (1596-1650) propuso una razón mecánica del movimiento de los planetas: van arrastrados por un torbellino del éter, materia continua que llena el universo. Cada planeta es/ a su vez, centro de un torbellino secundario que causa la rotación del planeta y sus satélites, y causa también la fuerza de la gravedad.

Esta teoría no permite deducir las leyes de Kepler. Descartes aporta una contribución mucho más valiosa con su desarrollo de la geometría analítica.

El holandés Christian Huygens (1629-1695) propone también la existencia del éter para explicar la propagación de la luz, a la que considera una vibración mecánica del éter.

Isaac Newton (1642-1727) es la gran figura de la física clásica. En su obra «Philosophiae Naturalis Principia Mathematica» presentó las leyes del movimiento y su aplicación al sistema solar:

1. *Todo cuerpo continúa en su estado de reposo o movimiento en línea recta mientras una fuerza no produzca un cambio en ese estado.*
2. *El cambio de movimiento (aceleración) es proporcional a la fuerza, y ocurre en la dirección en que la fuerza actúa.*
3. A *cada acción corresponde una reacción igual y en dirección opuesta.*
4. Ley de la gravitación universal: todo ocurre en la naturaleza como si los cuerpos se atrajesen con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

Así se explica por fin el movimiento de los planetas y la caída de los cuerpos. Newton demuestra que las leyes de Kepler son una consecuencia necesaria de su ley de gravitación. Y se sienta la base para predecir con exactitud la posición y movimiento de todos los astros.

Newton contribuyó también de forma importantísima a la hidrodinámica, la óptica, la astronomía experimental (inventó el telescopio reflector y descompuso la luz blanca con un prisma).

EL UNIVERSO DE LA FÍSICA CLÁSICA

A raíz de los trabajos de Newton, la Mecánica se convierte en ejemplo y modelo de toda la ciencia. Un fenómeno se considera satisfactoriamente explicado si puede reducirse a fuerzas y movimientos regidos por las leyes de Newton. Y éstas prueban su exactitud con los cálculos de la órbita del cometa de Halley (1682), cuyo retomo en 1758 demostró la aplicación de la mecánica celeste aun a cuerpos gaseosos; el descubrimiento de Urano (Herschel, 1781), una vez más de acuerdo con las leyes de Kepler y Newton; Neptuno, encontrado en 1846 según las predicciones de LeVemer y Adams; el paralaje estelar, verificado por Bessel (1838) y que finalmente prueba la rotación de la Tierra alrededor del Sol y, al mismo tiempo, las dimensiones increíblemente vastas del universo estelar. Un sentido de satisfacción pervade la ciencia de esta época: hay un camino seguro para entender el universo, sin recurrir a agentes misteriosos más allá de la comprobación experimental.

La visión mecanicista se extiende incluso a la termodinámica y a la electricidad. Thompson (1798) abandona la idea del calor como un fluido, basado en el fenómeno de la producción de calor por fricción. Joule establece la equivalencia entre trabajo mecánico y energía térmica. Y se formulan las leyes de la termodinámica:

1. *En un sistema cerrado (térmicamente aislado) la energía total es constante (suma de energía mecánica, potencial y calorífica).*
2. *Mientras que el trabajo mecánico puede convertirse totalmente en calor, es imposible convertir el calor totalmente en trabajo: los procesos naturales son irreversibles, y la entropía siempre aumenta.*
3. Es *imposible por medio de un número finito de procesos físicos reducir la temperatura de un sistema al cero absoluto (entropía cero).*

Estas leyes presentan una dificultad aparentemente insoluble contra la concepción puramente mecánica del universo, pues predicen la distri-

bución uniforme de la energía en un futuro más o menos lejano, con la consecuencia de que el universo no podría ya sufrir cambio alguno (muerte térmica).

En el campo de la electricidad y magnetismo. Oersted (1820) y Faraday (1831) establecen la equivalencia de ambas fuerzas. Hertz descubre la naturaleza electromagnética de las ondas luminosas. Maxweil las analiza como vibraciones de los campos eléctrico y magnético, y extiende esta concepción a todas las vibraciones del éter que se transmiten con la velocidad de la luz (medida en 1675 por Rómer). Así, los fenómenos electromagnéticos y la luz quedan incorporados al campo de la mecánica.

Esta situación, aparentemente tan satisfactoria, encuentra su expresión más explícita en la afirmación de Laplace: un entendimiento suficientemente vasto, que pudiese conocer en un momento dado las masas, posiciones y velocidades de todas las partículas del universo, conocería necesariamente toda la historia futura y pasada del cosmos. Los únicos elementos independientes son: espacio, tiempo, masa y movimiento.

El espacio es algo real, absoluto, marco cierto e inmutable de cuanto ocurre. El tiempo, aunque para Newton era igualmente absoluto, para otros pierde su importancia: un tiempo sólo puede designarse por las coordenadas de todas las partículas del universo en un momento dado. Si esas coordenadas vuelven a darse exactamente, el tiempo vuelve a ser el mismo. Así puede darse un universo cíclico, en el que hasta la irreversibilidad y entropía pueden vencerse por el tratamiento estadístico, que prevé que todas las combinaciones de partículas son posibles, incluso las que repiten combinaciones anteriores. Lo único que queda por hacer es perfeccionar más las medidas: añadir otro decimal.

LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA MODERNA

El experimento de Michelson y Morley, que se proponía detectar el «viento de éter» debido al movimiento de la Tierra, dio un resultado nulo. Para asombro de todos los físicos, la velocidad de la luz mantuvo exactamente el mismo valor cuando la Tierra se movía hacia los rayos luminosos y cuando se alejaba de ellos. Todos los intentos de explicar este resultado en términos de la mecánica clásica resultaron fallidos o artificiales.

En 1905, Einstein propuso una solución radical: descartar el éter y aceptar como dato básico experimental la constancia de la velocidad de

la luz en el vacío. Esto lleva lógicamente a la variabilidad de las medidas de espacio y tiempo, según el observador se encuentre en reposo o en movimiento uniforme con respecto al objeto medido. Es la Teoría de la Relatividad Restringida. Su contenido general puede resumirse en la afirmación de que es absolutamente imposible por ningún experimento físico el distinguir entre el estado de reposo y el de movimiento uniforme, y que la velocidad de la luz en el vacío es constante y un límite absoluto.

Consecuencias: aumento de masa con la velocidad, contracción de longitudes en la dirección del movimiento, dilatación del tiempo, equivalencia de masa y energía. Todos los efectos son perfectamente recíprocos y, en consecuencia, aparentes para cada observador en determinado marco de referencia.

En 1916, Einstein amplía su concepción para incluir movimientos acelerados, y llega a una identificación de gravedad y aceleración. En lugar de una fuerza de atracción universal, Einstein propone una interpretación geométrica de la gravedad: la presencia de masa produce una distorsión del espacio tridimensional (hacia una cuarta dimensión), de tal modo que los cuerpos tienen que seguir curvas llamadas geodésicas, equivalentes a-la recta en un espacio euclídeo.

Comprobaciones experimentales (vida media del mesón, masa de partículas aceleradas en el ciclotrón, desviación aparente de estrellas cerca del limbo solar, enrojecimiento de la luz emitida en un campo gravitatorio) forzaron la aceptación de la teoría en contra de todo «sentido común» e incapacidad imaginativa de representarnos espacios curvos.

Simultáneamente, a partir de 1900, otras ideas revolucionarias hacen su aparición en el campo de la física nuclear. Max Planck demostró que la radiación luminosa es emitida por los átomos en unidades indivisibles, cada una un «quantum» de energía. Einstein lo confirma con la explicación del fenómeno fotoeléctrico. Y Bohr lo aplica a las órbitas posibles para los electrones que giran alrededor del núcleo atómico. Así se destruye la idea clásica de continuidad, con su aceptación implícita de la posibilidad de medidas cada vez más refinadas, sin límite.

La implicación de la teoría cuántica la explícita Heisenberg con su principio de indeterminación. Es una propiedad necesaria de todo experimento el que la incertidumbre de posición y la incertidumbre en el valor del momento están relacionadas por la fórmula:

$\Delta x \cdot \Delta p \geq h/2\pi$ (h: constante de Planck). Igualmente $\Delta E \cdot \Delta t \geq h/2\pi$

Esto implica la imposibilidad de predecir exactamente el resultado de cualquier experimento con partículas subatómicas: nunca podemos saber con exactitud los necesarios parámetros.

Una nueva física, la física cuántica, se desarrolla durante los años veinte, por autores como Heisenberg, Schródinger y Dirac. Al mismo tiempo, la aparente sencillez del átomo da lugar a una complicada serie de partículas «elementales». Es la situación rica, pero desconcertante, de hoy.

EL UNIVERSO DE LA FÍSICA Y ASTRONOMÍA DE HOY

Al mismo tiempo que la física tenía que renunciar a describir los constitutivos mínimos de la materia en términos asequibles a la imaginación y experiencia macroscópica, la astronomía revelaba magnitudes más abrumadoras y empequeñecedoras para el orgullo humano. El Sol deja de ser centro de nada más importante que su pequeño cortejo de planetas. Se encuentra en un brazo de la Vía Láctea, a 30.000 años-luz del centro, perdido entre 100.000 millones de estrellas semejantes. La misma Vía Láctea/ que Herschel consideraba ser todo el Universo, queda reducida a una de las más de 100.000 millones de galaxias. Recientemente/ el descubrimiento de quasares y la radiación de fondo nos permiten creer que vemos los límites espaciales y temporales del Universo, presentándonos con el problema filosófico de su finitud.

La filosofía de la Naturaleza quedó durante esta revolución científica casi al margen de los nuevos conceptos y teorías. Los filósofos escolásticos, en su mayoría, consideraron los nuevos datos más como dificultades que resolver desde el punto de vista aristotélico que como base sobre la que formular nuevas preguntas y posibles respuestas. Entre los científicos, una gran parte desdeña las cuestiones filosóficas, y con el positivismo lógico convierte en credo la negativa de pensar o aceptar ni un concepto que no sea experimentalmente verificable. Para esta escuela, no tiene sentido preguntarse *qué* son las cosas, sino solamente *cómo* funcionan y cómo pueden darse reglas que permitan predecir resultados experimentales.

La mayor actividad filosófica se dirige hacia la epistemología, el estudio del conocer científico, sus fronteras y su validez. Es la Filosofía de la Ciencia, en pleno auge en nuestros días.

Sin embargo, el deseo innato de saber qué son las cosas es básico en toda investigación científica, y los más grandes físicos se han pronun-

ciado abiertamente en este sentido de buscar la realidad objetiva, no solamente una colección de reglas y leyes para experimentar con éxito.

«El interés por el pormenor es bueno y necesario, pero lo que en definitiva queremos saber es cómo es la realidad.» Heisenberg.

«Que debemos comenzar por lo pequeño cuando queremos mejorar lo grande, es sin duda, un excelente principio en el campo de la conducta práctica; e incluso en la propia ciencia puede resultar este camino correcto en no pocos tramos del mismo, con tal que no se pierda de vista la coherencia universal de la totalidad... Pero el positivismo en su forma actual incurre en el error de menospreciar el gran nexo general de las cosas, dejando conscientemente en la niebla —quizá ahora haya exagerado con mi crítica— o, al menos, no animando a nadie a pensar en aquél.» Id.

«Según los positivistas... el mundo se divide en dos sectores: el de lo que puede decirse con claridad y el de aquello sobre lo que debe guardarse silencio. Pero no hay filosofía tan sin sentido como ésta. Porque no hay apenas nada que pueda expresarse con claridad. Si se elimina todo lo que es oscuro, probablemente sólo quedarán algunas tautologías carentes por completo de interés.» Id.

«El prefijo «meta» significa pura y simplemente que se trata de cuestiones que vienen después, es decir, cuestiones que versan sobre los *fundamentos* de la disciplina correspondiente. ¿Por qué, pues, no se ha de poder investigar lo que hay más allá de la física?»... «No debe olvidarse jamás ese estrato profundo en el que habita la verdad.» Id. (Diálogos sobre la Física Atómica, BAC. Madrid, 1972.)

BIBLIOGRAFÍA

Como se indicó en la Introducción, no debe confundirse la *Filosofía de la Naturaleza* ni con la *Filosofía de la Ciencia* ni con la *Historia de la Filosofía* o la *Historia de la Ciencia*, aunque ambas materias sean útiles para una mejor comprensión de los temas. En el ambiente intelectual moderno se rehuye frecuentemente la discusión frontal de los problemas, sustituyéndola por una visión descriptiva del desarrollo de las ideas por escuelas o autores, con la implicación de que no hay verdad o que no es cognoscible; se discute más bien la metodología que el contenido. En su forma extrema, esta actitud es estéril para el avance científico en cualquier campo; lo es muy especialmente en la Filosofía, ya en peligro —por su propia naturaleza— de perderse en palabrería.

Por este clima intelectual, y por la dificultad de encontrar autores que se sientan capaces de unir ciencias físicas y raciocinio filosófico, no es fácil indicar libros directamente útiles para los temas que se han expuesto en este tratado. Los títulos que aquí se indican, tanto de libros como de artículos, son generalmente sólo de interés parcial, y sus puntos de vista deben contrastarse con los argumentos lógicos presentados en cada tema.

Libros en español de mayor amplitud:

ARTIGAS, M., *Filosofía de la Naturaleza*, 4 ed., EUNSA, Pamplona.
AUBERT, J.M., *Filosofía de la Naturaleza*, 6 ed., Herder, Barcelona 1987.
BUTTERFIELD, H., *Los Orígenes de la Ciencia Moderna*, Taurus, Madrid 1971.
CAPEK, M., *Impacto Filosófico de la Física Contemporánea*, Tecnos, Madrid 1965.
GOÑI ARREGUI, F., *La Cara Oculta del Mundo Físico*, Gredos, Madrid 1974.
HEISENBERG, W., *Diálogos Sobre la Física Atómica*, BAC, Madrid 1974.

LÓPEZ DÓRIGA, E., *El Universo de Newton y de Einstein,* Herder, Barcelona 1985.
PENROSE, R., *La Nueva Mente del Emperador*, Mondadori, Madrid 1991.
POPPER, K. y ECCLES, J., *El Yo y su Cerebro,* Labor, Barcelona 1993.
PRIESTLY, J.B., *El Hombre y el Tiempo*, Aguilar, Madrid 1969.
RUSSELL, B., *El Análisis de la Materia*, Taurus, Madrid 1969.
SANGUINETI, J.J., *El Origen del Universo,* EDUCA, Buenos Aires 1994.
WEIZSÄCKER, C.F. von, *La Imagen Física del Mundo*, BAC, Madrid 1974.
— *La Importancia de la Ciencia*, Labor, Barcelona 1968.

Libros de divulgación científica dirigidos a lectores de nivel universitario se encuentran en gran número en varias editoriales:

ALIANZA UNIVERSIDAD, Madrid:

ASIMOV, I., *El Universo,* 1975.
FRITSCH, H., *Los Quarks, la Materia Prima de Nuestro Universo*, 1982.
GEROCH, R., *La Relatividad General (de la A a la B)*, 1985.
NARLIKAR, J., *Fenómenos Violentos en el Universo,* 1987.
WEINBERG, S., *Los Tres Primeros Minutos,* 1978.

EDITORIAL SALVAT, Barcelona:

CHAISSON, E., *El Amanecer Cósmico,* 1986.
DAVIES, P., *Dios y la Nueva Física,* 1986.
— *El Universo Accidental,* 1986.
— *El Universo Desbocado,* 1985.
— *La Frontera del Infinito,* 1985.
— *Otros Mundos,* 1986.
— *Superfuerza,* 1985.
GARDNER, M., *Izquierda y Derecha en el Cosmos,* 1972.
— *La Explosión de la Relatividad,* 1986.
GRIBBIN, J., *En Busca del Gato de Schroedinger,* 1986.
— *Génesis,* 1986.
KIPPENHAHN, R., *La Luz del Confín del Universo,* 1987.
MORRIS, R., *Las Flechas del Tiempo,* 1986.
RUCKER, R., *La Cuarta Dimensión,* 1987.
SCHATZMAN, E., *Los Niños de Urania,* 1987.
TREFIL, J. S., *El Momento de La Creación,* 1986.
— *De Los Átomos a Los Quarks,* 1985.

Entre las revistas en español que son de carácter científico fiable destaca *INVESTIGACIÓN Y CIENCIA*, versión casi completa de *SCIENTIFIC AMERICAN* publicada dos meses después del correspondiente original en inglés. También es de buen nivel *MUNDO CIENTÍFICO*, versión de

la francesa *LA RECHERCHE*. Ambas contienen artículos de todo el campo científico, desde la sociología hasta la astrofísica, con autores de renombre.

Una selección de artículos recientes de temas astronómicos y físicos:

De ***MUNDO CIENTÍFICO***: (RBA Revistas, Barcelona):
N.º extra, Abril 2001: *El Nacimiento del Cosmos* (diversos autores).
N.º 34: *El Big Bang Hoy.*
N.º 57: *La Formación del Universo.*

De ***SCRIPTA THEOLOGICA***:
Enero-Agosto 87: *Física y Creación.*

De ***SILLAR:***
Julio-Sept. 81, 82, 83: *El Universo Según la Nueva Astronomía* (3 partes).

De ***INVESTIGACIÓN Y CIENCIA***:
Jun. 2001, no. 297: GANGUI, A., *Radiación de Fondo y Modelos Cosmológicos.*
Abril 2001, no. 295: TEGMARK, M. Y WHEELER, J.A.: *Cien Años de Misterios Cuánticos.*
Marzo 2001, no. 294: *El Cosmos Extraño* (p. 57-83, diversos autores).
Jun. 2000, no. 285: ZEILINGER, A., *Teletransporte Cuántico.*
Feb. 2000, no. 281: KRAUSS, L.M. y STARKMAN, G.D., *El Sino de la Vida en el Universo.*
Enero 2000, no 280: WEINBERG, S., *La Unificación de la Física.*
— REES, M., *Exploración del Universo.*
Agos. 99, no 275: LANDY, S.D., *Cartografía del Universo.*
Jun. 99, no. 273, LUMINAT, J.P., STARKMAN, G.D. y WEEKS, J.R., *¿Es Finito el Espacio?*
Marzo 99, no 270, *Informe Especial Sobre Cosmología* (diversos autores).
Jun. 98, no. 261, TARLE, G. Y SWORDY, S.P., *Antimateria Cósmica.*
Abril 98, no 259, DUFF, M.J., *La Teoría M.*
Jul. 97, no. 250, NOTTALE, L., *El Espacio-Tiempo Fractal.*
Jun. 97, no. 249; SUSKIND, L., *Los Agujeros Negros y la Paradoja de la Información.*
Feb. 97, no. 245, HOGAN, C.T., *El Deuterio Primordial y la Gran Explosión.*
Dic. 96, no. 243, CASTI, J.L., *¿Existen Limites Lógicos para el Conocer?*
Sept. 96, no. 240, HAWKING, S.W. y PENROSE, R., *La Naturaleza del Espacio y el Tiempo.*
Marzo 96, no. 234, MUKERJEE, M., *Explicación de Todo.*
Dic. 94, no. 219, *Vida en el Universo* (diversos autores).
Abril 93, no. 199, SANZ, J.L., y MARTINEZ GLZ., E., *Radiación Cósmica del Fondo de Microondas.*
Ene. 93, no. 196, FREEDMAN, W.L., *Velocidad de Expansión y Tamaño del Universo.*

Títulos de artículos no tan recientes, pero útiles todavía:

Oct.	92	*Cosmología: Teorías y Observaciones.*
Sept.	92	*Filosofía Cuántica.*
Mav.	92	*Texturas y Estructura General del Cosmos.*
Feb.	92	*Cuántica y Creación del Universo.*
Abr.	91	*Ciencia Y Sociedad. La Radiación de Fondo de Rayos X.*
		En el Principio (evolución biológica).
Feb.	91	*Singularidades en la Relatividad General.*
Ene.	91	*Ciencia Y Sociedad: Medir la Eternidad*
Dic.	90	*Verdades Universales.*
Jul.	90	*Ciencia y Sociedad: ¿Es la Gran Explosion una prediccion inevitable de la Teoria de la Relatividad?*
Mar.	90	*Quiralidad del Universo.*
		Ciencia y Sociedad· El COBE.
Sept	88	*Lentes Gravitatorias.*
Jul.	88	*El Misterio de la Constante Cosmológica.*
Feb.	88	*Cuerdas Cósmicas.*
Nov.	87	*El Grandioso Desfile de las Galaxias.*
Feb.	87	*Materia Oscura del Universo.*
Nov.	86	*Supercuerdas.*
Oct.	85	*El Vacio Clásico.*
Jun.	85	*Partículas y Fuerzas Elementales*
Jul.	84	*Universo Inflacionario.*
Feb.	84	*Gravedad Cuántica.*
Mav.	83	*Futuro del Universo*
Jul.	81	*Cosmología y Observaciones.*
Feb.	81	*El Principio Antrópico.*
Feb.	80	*Desintegracion del Vacío.*

Libros de Texto

ISBN:84-8468-034-7